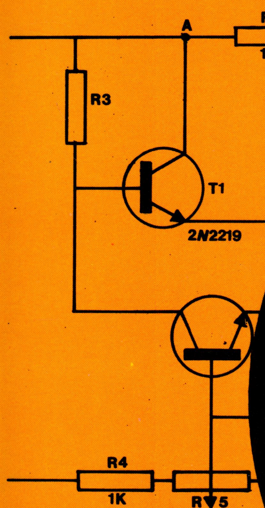
HOBBYBOEK MODELBAAN

D.H. SCHRAVENDEEL









KLUWER-DEVENTER

ERRATA

Pagina 54 : Onderdelenlijst
TS1 = 2N2905 moet zijn BC107.
Toevoegen: Dz = Zenerdiode 15 V / $^{1}/_{2}$W.

Pagina 56 : Afb. 2-19. Bovenzijde componentenopstelling.
Tweede aansluiting van links *Emitter TS 5* moet zijn *Collector TS 5.*

Pagina 98 : Afb. 4-12.DTD met signalering van rijrichting.
In dit schema zijn de collectoren van de twee transistoren abusievelijk met elkaar doorverbonden.

Opmerking:

Pagina 166 : Ook na de genoemde datum zijn de printjes nog verkrijgbaar. Echter niet meer bij de genoemde firma en niet meer voor dezelfde prijs.

De printjes kunnen worden besteld door overmaking van het verschuldigde bedrag op Girorekening 229463 t.n.v. D. H. Schravendeel te Alphen a/d Rijn.

De in het boek genoemde prijzen moeten met f 1,50 worden verhoogd.

Hobbyboek modelbaan

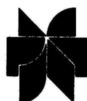
D. H. Schravendeel

Hobbyboek modelbaan

Praktische schakelingen voor het modelspoorwegbedrijf

Onder redactionele verantwoordelijkheid van J. H. Jansen

Tweede druk



KLUWER TECHNISCHE BOEKEN B.V. - DEVENTER - ANTWERPEN

ISBN 90 2010 775 5

1e druk 1974
2e druk 1978

Voorbericht

Bij de eerste druk

De spoorwegmodelbouw is een hobby, die nu al ruim honderd jaar wordt beoefend door zowel volwassenen als kinderen. Vooral nu iedereen in de laatste jaren de beschikking krijgt over steeds meer vrije tijd wordt de noodzaak groter daarvoor een zinvolle besteding te vinden. Modelspoorwegbouw is beslist een zinvolle vrijetijdsbesteding omdat iedereen, op zijn eigen niveau, zich hierin ten volle kan uitleven wat betreft fantasie en creativiteit.
Er bestaat reeds een groot aantal boeken waarin de spoorwegmodelbouw meer of minder uitvoerig besproken wordt. Toch ontbreekt er in deze boeken meestal iets, namelijk de toepassing van elektronica op de modelbaan. Het aantal toepassingen van de elektronica is de laatste jaren enorm toegenomen, vooral op het gebied van de automatisering.
De bedoeling van dit boek is een verbinding te leggen tussen de modelspoorweghobby en de elektronica. Het aantal toepassingsmogelijkheden van de elektronica op de modelbaan is echter zó groot, dat dit boek onmogelijk volledig kan zijn. Daarom heb ik geprobeerd een richting aan te geven door het behandelen van een aantal algemene principes en de daarvan afgeleide schakelingen.
Omdat niet iedere modelbaan-enthousiast tevens elektronicus is, heb ik in het eerste hoofdstuk de allernoodzakelijkste begrippen uit de elektriciteitsleer en de elektronica kort besproken, zonder moeilijke formules. Méér kennis is voor het toepassen van de in de volgende hoofdstukken besproken schakelingen niet beslist noodzakelijk. Om wat vertrouwd te raken met elektronische onderdelen, zoals weerstanden, condensatoren en halfgeleiders, heb ik deze in het tweede gedeelte van het eerste hoofdstuk één voor één de revue laten passeren.
Diegenen onder de lezers, die al voldoende bedreven zijn in de elektronica kunnen dit hoofdstuk gerust overslaan.
In de hoofdstukken 2 t/m 8 heb ik steeds een apart facet van de elektronica op de modelbaan onder de loep genomen. Uiteraard zijn er nog veel meer toepassingsmogelijkheden. Een aantal hiervan komt in het tweede deel aan de orde.
In hoofdstuk 9 ten slotte ben ik nog uitvoerig ingegaan op de praktische realisering van de besproken schakelingen, in het bijzonder de gedrukte bedrading.

Alphen a/d Rijn, augustus 1974 — De schrijver

Bij de tweede druk

Deze druk is gelijk aan de vorige.

Deventer, voorjaar 1978 — De uitgever

Inhoud

1. INLEIDING 11
1.1. Enkele begrippen uit de elektriciteitsleer 11
Spanning en stroom 11
Weerstand, Wet van Ohm 14
Serie- en parallelschakeling van weerstanden 15
Spanningsval, spanningsdeler 16
Wisselspanning en wisselstroom 17
Capaciteit 19

1.2. Onderdelen 21
Weerstanden 22
Vaste weerstanden 22
Variabele weerstanden 25
Bijzondere weerstanden 26
Condensatoren 27
Halfgeleiders 29
Dioden 30
De zenerdiode 32
Transistoren 33
De Uni-Junction-Transistor 37
De bestuurbare gelijkrichter of thyristor 37
Geïntegreerde schakelingen IC's, ... 37

2. DE VOEDING VAN DE MODELBAAN 39
2.1. De theorie 39
De keuze van het systeem 39
De transformator 39
Het gelijkrichten van wisselstroom 41
Dubbelfasige gelijkrichting met middenaftakking 42
Dubbelfasige gelijkrichting volgens GRAETZ 43
Afvlakking 43
Spanningsverdubbeling 44
Spanningsstabilisatie 45

2.2. De praktijk 47
Eenvoudige voeding voor 12 V 48
Gestabiliseerde voeding voor 9 - 14 V 50
Regelbare gestabiliseerde voeding 0 - 14 V 54

3. HET REGELEN VAN DE SNELHEID 58
3.1. Schaalsnelheid 58

3.2. De locomotiefmotor 59
Principe van de permanente-magneetmotor 59
Elektrische eigenschappen 61

3.3. Diverse methodes van snelheidsregeling 61
De eisen 61
De indeling 62

3.4. Conventionele regelaars 62
Regelaar met variabele weerstand 62
Regelaar met aftak-transformator 63
Eenvoudige transistorregeling 64

3.5. Het „elektronische vliegwiel" 64
Een kwestie van gewicht 64
Principe van het „vliegwiel" 65
Eenvoudige snelheidsregelaar met vliegwiel 66
Snelheidsregelaar met vliegwiel en vijfstandenschakelaar 67

3.6. Optrek-hulp-schakeling 70

3.7. Snelheidsregeling d.m.v. fase-aansnijding 73
De UJT-schakeling 73
Principe van de fase-aansnijding 74
Fase-aansnijdingsregeling voor het wisselstroomsysteem 77

3.8. Snelheidsregeling d.m.v. impulsbreedtemodulatie 77
Algemeen principe 77
De timer NE 555 78
Snelheidsregelaar volgens het impulsbreedtemodulatieprincipe 83
IM-regelaar met vliegwiel en vijfstandenschakelaar 86

4. SIGNALEN VAN DE RIJDENDE TREIN 89
4.1. Het begrip „signaal" 89
Langdurende en kortdurende signalen 89
Het differentiërend netwerk 90
Indeling van de contactrails 91

4.2. Mechanische contacten 92

4.3. Magnetische contacten 92

4.4. Foto-elektrische contacten 93

4.5. Elektronische contacten 94

Algemeen principe 94
Contactrails voor éénrichtingsverkeer met diode en transistor 95
Eénrichtingscontact met één transistor 96
De DTD (Duo-Tor-Detektor) 97

5. WISSELS 101
5.1. Principe en elektrische eigenschappen 101
5.2. Het veilig schakelen van laagohmige wissels 103
Algemene opzet 103
Wisselbekrachtigingsschakeling met transistoren 103
Wisselbekrachtigingsschakeling met thyristoren 105

6. BEVEILIGING 108

6.1. Beveiligen – wat en waartegen? 108

6.2. Kortsluiting 109
Het gevaar van kortsluiting 109
De zekering 109
Stroombegrenzing 110
Het uitschakelen van de voeding bij kortsluiting 112
Elektronische kortsluitbeveiliging 113

6.3. Beveiliging op de baan 117
Beveiliging van een kruispunt 117
Het beveiligen van een tunnel 120

7. AUTOMATISERING 123

7.1. Algemeen 123

7.2. Tijd op de modelbaan 123
Algemeen 123
Tijdschakelaar met de NE 555 124
Tijdschakelaar met de XR 320 126

7.3. Praktische automatiseringsschakelingen 130
Automatische „weg-blijf"-schakeling 130
Automatisch „opbergspoor" 135
Automatische bediening van overwegbomen of AHOB 137

8. SCENERY 139

8.1. „Elektronische scenery" 139

8.2. De knipperlichtcentrale 139
Algemeen 139
Eenvoudige knipperautomaat met transistoren 140
Knipperlichtcentrale met de NE 555 141

8.3. Opvallende reclames 141
„Rondlopende" knipperlichtcentrale 142
Aangroeiende reclame 142

8.4. Verkeerslichtinstallatie 145

9. DIVERSEN 150

9.1. De gedrukte bedrading of print 150
Algemeen 150
Het basismateriaal 151
De bewerking 151
De fotografische methode 154
Het etsen 156
Het boren 157
Het solderen 157
Reparaties aan een print 158

9.2. De print-ontwerpen 159
Algemeen 159
De onderlinge verbindingen 161
De afzonderlijke ontwerpen 161
Printontwerp 2-13 163
Printontwerp 2-16 163
Printontwerp 2-19 163
Printontwerp 3-9 163
Printontwerp 3-13 164
Printontwerp 3-25 164
Printontwerp 4-14 164
Printontwerp 5-4 164
Printontwerp 6-6 164
Printontwerp 7-2 164
Knipperlichtcentrale 164
Tijdschakelaar 165
Printontwerp 7-6 165

9.3. Equivalentenlijst 165
Doorzichtige Print lay-outs 169

1. Inleiding

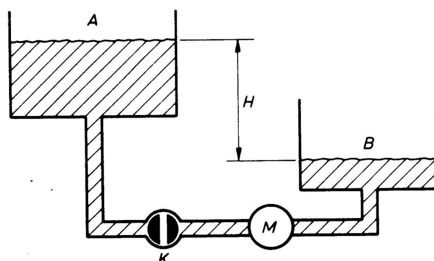
1.1. Enkele begrippen uit de elektriciteitsleer

Spanning en stroom

Het belangrijkste wat we voor onze modelbaan nodig hebben, is „elektriciteit". Zonder elektriciteit zou de modelbaan een doodse bedoening worden. De treinen zouden niet rijden, er zouden geen lichten branden, de wissels moesten met de hand bediend worden, enz.
Het laten rijden van de treinen zou nog wel op andere manieren kunnen, namelijk door middel van een veer of door stoomtractie. De andere dingen zullen we dan echter met de hand (of tóch met elektriciteit) moeten doen.
Samenvattend komen we tot de conclusie, dat, hoe mooi en natuurgetrouw een échte stoomloc ook is, we ons in dit boek beter alleen kunnen gaan bezighouden met de elektrische modelbaan.
Het is dan noodzakelijk, dat we ons eerst even gaan bezighouden met de „drijfveer" voor onze baan, de elektriciteit. Om de in dit boek behandelde elektronische schakelingen te kunnen begrijpen, moeten we wel beschikken over enige elementaire kennis van de elektriciteitsleer. We gaan er uiteraard niet al te diep op in, want dit wordt nu eenmaal geen leer- maar een hobby-boek.
Diegenen die al goed thuis zijn in de elektriciteitsleer en de elektronica, kunnen dit hoofdstuk gerust overslaan.

Het eerste wat we ons gaan afvragen is: Wat is elektrische stroom? Volgens diverse leerboeken moet het antwoord daarop luiden: Elektrische stroom is het verplaatsen van elektrische lading.
Een elektrische lading is gebonden aan een elektron. Een elektron is een heel klein deeltje, dat bij een atoom hoort. Het verplaatsen van elektrische ladingen gebeurt dus door elektronen. We kunnen nu dus eenvoudigweg zeggen: elektrische stroom is het verplaatsen van elektronen.
We gaan niet verder in op het hoe en waarom, want dat zou veel te ver voeren. We bekijken alleen maar de eigenschappen van de elektriciteit en wat we ermee kunnen doen. Daarbij krijgen we te maken met begrippen als spanning, stroom en weerstand.
We zagen al dat elektrische stroom een verplaatsing van elektronen is. Dat is

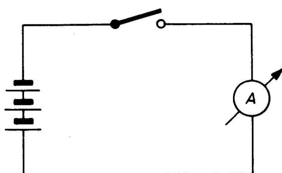
dus een beweging. Als elektronen niet „bewegen" hebben we er niets aan. Laten we als voorbeeld maar een gewone batterij nemen. Die batterij op zichzelf presteert niets. Alleen als we er iets op aansluiten, hebben we er iets aan. En juist dat „iets" is het, wat de elektronen de kans geeft te gaan bewegen.
We kunnen de begrippen spanning en stroom het beste duidelijk maken, aan de hand van het zgn. watermodel (afb. 1-1).



Afb. 1-1. „Watermodel" van een weerstand.

Dit model bestaat uit 2 vaten A en B die met elkaar zijn verbonden door een buis waarin een kraan (K) en een watermeter (M) zijn gemonteerd. Vat A staat hoger dan vat B zodat het water van A naar B wil stromen. Zolang de kraan echter gesloten is, is dit niet mogelijk. De watermeter zal dus op 0 staan. Draaien we nu de kraan open, dan gaat het water van A naar B. De watermeter geeft nu wél een uitslag.
Het zal duidelijk zijn dat hoe groter het hoogteverschil is, hoe meer water er, bijv. per seconde, de watermeter zal passeren. De waterstroom is dus afhankelijk van het hoogteverschil (H). Het doet er in eerste instantie dus niets toe hoevéél water er in A zit. De hoeveelheid water in vat A bepaalt alleen de tijd die het water zal blijven stromen.
De stroom door de buis, en dus ook de aanwijzing van de watermeter, zal langzaam minder worden, omdat het hoogteverschil steeds kleiner wordt.
Maar er is nóg een factor, die de hoeveelheid water per seconde door de buis beïnvloedt. Dit is de doorsnede van de buis. Hoe wijder de buis is, hoe meer water er doorheen kan. Door een heel wijde buis, zal heel even een grote massa water vloeien. De stroom is dan erg groot, maar duurt slechts kort, omdat het vat A snel leeg is. We zien dus dat de waterstroom door de buis afhankelijk is van het hoogteverschil én van de doorsnede van de verbindingsbuis.
Nu kijken we eens naar het elektrische model in afb. 1-2. Daar zien we een batterij, een schakelaar en een verbindingsdraad. Een batterij heeft twee aansluitingen of polen. Het korte streepje is de min- en het lange streepje de pluspool. Nu kunnen we de −pool vergelijken met het watervat A en de +pool met vat

komt. Er is dus ook hier een zeker hoogteverschil. De elektronen van de −pool zouden graag naar de +pool willen. Maar dat kan nog niet, omdat de geopende schakelaar de weg onderbreekt. De stroommeter zal dus niets aanwijzen. Sluiten we de schakelaar, dan gaan de elektronen, door de verbindingsdraad, van de −pool naar de +pool. Nu wijst de meter wel iets aan namelijk hoeveel elektronen er per tijdseenheid passeren.



Afb. 1-2. „Elektrisch model" van een weerstand.

Bij de batterij spreken we niet over hoogteverschil, maar over potentiaalverschil of spanning. Hoe groter de spanning is, hoe groter de stroom door de draad. Maar net als bij het watermodel ondervindt de elektronenstroom een zekere weerstand in de draad. Hoe dunner de draad is, hoe minder elektronen er tegelijk doorheen kunnen. Het zal dan met die dunne draad ook veel langer duren voor de batterij leeg is, dan wanneer we een dikke draad nemen. We zien dus dat de elektrische stroom door een draad afhankelijk is van de spanning *over* en de weerstand *van* die draad.
Het doet misschien een beetje vreemd aan, dat we juist die pool waar de meeste elektronen zijn de −pool noemen. Maar dat komt, omdat elektronen negatief geladen deeltjes zijn. Er is dus op de negatieve pool veel negatieve lading aanwezig.
Heel vroeger, toen men nog maar weinig begrip had van de elektriciteit dacht men dat een elektrische stroom van de +pool naar de −pool ging. Nu weten we wel beter, maar toch is deze denkwijze zó ingeburgerd, dat we voor het gemak die oude (foutieve) stroomrichting nog steeds aanhouden. Het is trouwens toch zo, dat het er niets toe doet of de stroom nu van rechts naar links of andersom door een lamp stroomt.
De lamp zal in beide gevallen even helder branden. Alleen stroomdoorgang door gassen of vloeistoffen kunnen we alleen maar goed verklaren met de juiste stroomrichting. Maar daar komen we in dit boek toch niet aan toe. Wij blijven dus ook die oude regel toepassen: De stroom loopt van + naar −.
Een potentiaalverschil drukken we uit in volts (V). We zeggen dus dat een batterij bijvoorbeeld 6 V afgeeft. Maar er ontbreekt nog iets. Als we over een *verschil* spreken, moeten we er wel bijzeggen ten opzichte van wat dat verschil dan wel is. (We zeggen bijvoorbeeld ook dat bepaalde delen van Nederland enkele meters beneden NAP (Nieuw Amsterdam Peil) liggen. Dat NAP is dan de stan-

daard. Alle hoogten geven we dan aan ten opzichte van dit NAP. Een heuvel op de Veluwe zal dan bijvoorbeeld 4 m boven NAP zijn, dat is dan +4 m. Een polder die 3 m beneden NAP ligt, geven we de aanduiding −3 m. NAP laten we voor het gemak gewoon weg)

Bij potentiaalverschillen gaan we op dezelfde wijze te werk. Hebben we bijvoorbeeld een batterij van 4,5 V dan kunnen we twee dingen doen:

In de eerste plaats kunnen we de +pool als standaard nemen. Die noemen we dan de 0. De −pool is dan −4,5 V. Maar we kunnen ook de −pool als 0 nemen, de +pool is dan dus +4,5 V. We zien dat het alleen maar een kwestie is om van te voren goed af te spreken welk spanningsniveau we als 0 aannemen. In dit boek noemen we steeds de negatieve pool van de voedingsspanning de 0. We werken dus steeds met positieve spanningen.

De stroommeter in afb. 1-2 geeft dus een uitslag als er stroom door de draad vloeit. Die hoeveelheid stroom drukken we uit in *ampères* (A). We kunnen dus bijvoorbeeld een stroom hebben van 3 A. Vaak is de maat ampère te groot. Dan gebruiken we het duizendste deel van een ampère de milli-ampère (mA).

1 mA = 0,001 A

Weerstand, Wet van Ohm

De stroom door een draad is, zoals we al zagen, o.a. afhankelijk van de weerstand van die draad. Ook voor weerstand hebben we een bepaalde maat namelijk de *ohm* (Ω). Wanneer we tussen de uiteinden van een draad een potentiaalverschil aanleggen van 1 V en als er dan 1 A door die draad gaat, dan is de weerstand van die draad 1 Ω. Nu is een weerstand van 1 Ω maar erg weinig, zodat we vaak gebruik maken van de maat kilo-ohm (1 kΩ = 1000 Ω).

Spanning, stroom en weerstand worden voorgesteld door letters namelijk *U* voor spanning, *I* voor stroom en *R* voor weerstand. Tussen deze drie grootheden bestaat er nu een heel eenvoudig verband, waarop veel berekeningen in de elektriciteitsleer gebaseerd zijn. Dat is de beroemde *Wet van Ohm.*

In woorden luidt deze wet: De stroom door een geleider is gelijk aan de spanning over die geleider, gedeeld door de weerstand ervan. In formule

$$I = \frac{U}{R}$$

Met een paar voorbeelden gaan we dit even wat duidelijker maken.

In afb. 1-3 zien we een batterij van 6 V. Op die batterij is aangesloten een lampje met een weerstand van 100 Ω. Gevraagd wordt de stroom door dat lampje.

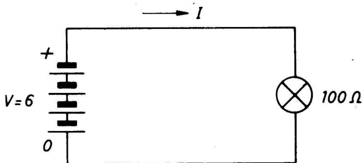
We gaan de gegevens invullen in bovenstaande formule:

$$I = \frac{6}{100} = 0{,}06\ \text{A} = 60\ \text{mA}$$

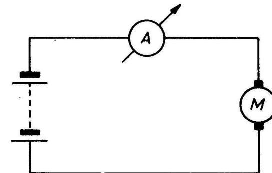
In afb. 1-4 is een motortje aangesloten op een accu van 12 V. De meter in serie

met de motor geeft aan, dat er een stroom van 300 mA door het motortje gaat. Gevraagd wordt de weerstand van die motor.

$$0{,}3=\frac{12}{R} \text{ of } R=\frac{12}{0{,}3}=40\ \Omega$$



Afb. 1-3.

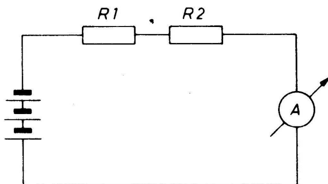


Afb. 1-4.

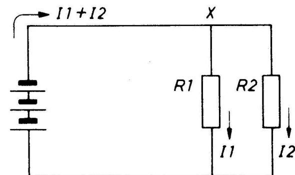
We zien hierbij, dat we in de formule de stroom altijd in A en de weerstand in Ω moeten uitdrukken.
Gewapend met de Wet van Ohm kunnen we nu in een schakeling diverse dingen uitrekenen. We zullen deze wet nog wel vaker tegenkomen.

Serie- en parallelschakeling van weerstanden

Het komt in schakelingen herhaaldelijk voor, dat we combinaties van weerstanden tegenkomen.
In afb. 1-5 zijn de weerstanden R1 en R2 achter elkaar of *in serie* geschakeld.
In afb. 1-6 staan de weerstanden R1 en R2 *parallel.*



Afb. 1-5. Serieschakeling van weerstanden.



Afb. 1-6. Parallelschakeling van weerstanden

Willen we in een dergelijke schakeling de stroom uitrekenen, dan moeten we de totale weerstand tussen de batterijklemmen weten. Het zal duidelijk zijn, dat we in afb. 1-5 de weerstanden gewoon bij elkaar op moeten tellen. De stroom moet immers door beide weerstanden. Maar in afb. 1-6 ligt de zaak heel anders. De stroom splitst zich in punt X. Een deel zal door weerstand R1 gaan, terwijl de rest door R2 gaat. Om nu de totale stroom uit te rekenen, moeten we eerst de *vervangingsweerstand* van R1 en R2 weten.
Dat kan met de volgende formule worden uitgerekend.

$$\frac{1}{R_v}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}$$

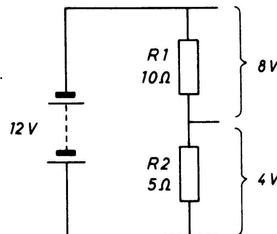
R_v is hier de vervangingsweerstand.
Laten we nu als voorbeeld even aannemen dat $R_1 = 100\ \Omega$ en $R_2 = 50\ \Omega$. R_v wordt dan:

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{100} + \frac{1}{50} = \frac{1}{100} + \frac{2}{100} = \frac{3}{100}$$

R_v is dan 100 : 3 = 33,3 Ω.
Natuurlijk komen we vaak genoeg veel ingewikkelder combinaties tegen. Maar we gaan hier nu niet al te lang over door. We kunnen voorlopig volstaan met te onthouden, dat bij parallelschakeling van weerstanden de vervangingsweerstand altijd kleiner is dan de *laagste* weerstand. Hebben we bijvoorbeeld twee gelijke weerstanden parallel, dan is de vervangingsweerstand de helft van één van deze weerstanden.
Liggen de weerstandswaarden erg ver uit elkaar, dan zal de vervangingsweerstand maar weinig lager zijn dan de kleinste.

Spanningsval, spanningsdeler

Als er stroom door een weerstand vloeit, dan wordt een deel van die elektrische energie omgezet in warmte. Er ontstaat over die weerstand een spanningsval. Hebben we maar één weerstand, dan zal de totale voedingsspanning over die ene weerstand staan. Maar hebben we bijvoorbeeld twee weerstanden in serie (zie afb. 1-7), dan is de spanningsval over die weerstanden verschillend, tenminste als ze niet gelijk zijn. De som van die twee spanningsverliezen is weer gelijk aan de totale voedingsspanning. We kunnen de spanningsval over een weerstand gemakkelijk uitrekenen met de Wet van Ohm. We gaan dit doen aan de hand van het voorbeeld in afb. 1-7.



Afb. 1-7. Spanningsdeler of potentiometer.

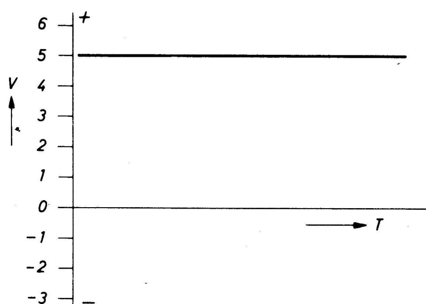
De batterij levert een spanning van 12 V. $R_1 = 10\ \Omega$ en $R_2 = 5\ \Omega$. De spanningsval over een weerstand is nu gelijk aan het produkt van de stroom door die weerstand en de weerstandswaarde.
In formule:

$$U_v = I \cdot R$$

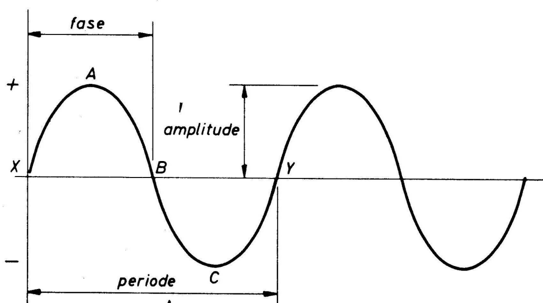
Om in ons voorbeeld de spanningverliezen over de weerstanden te kunnen uitrekenen, moeten we eerst de stroom kennen.
De totale weerstand is 10 + 5 = 15 Ω.
De stroom is dan 12 : 15 = 0,8 A.
De spanningsval over R_1 is dan 10 · 0,8 = 8 V en over R_2 is hij 5 · 0,8 = 4 V.
We zien dat het klopt, want de som van die spanningsverliezen is weer 12 V.
Een dergelijke combinatie noemt men een spanningsdeler. Over elke weerstand staat een deel van de totale spanning. Spanningsdelers zullen we in het vervolg nog vaak tegenkomen.
Het spanningsverlies dat optreedt over een weerstand maakt dat die weerstand warm wordt. Er wordt elektriciteit omgezet in warmte. Dissiperen heet dat. In de praktijk maken we daar dankbaar gebruik van. In een gloeilamp wordt de gloeidraad zó heet, dat hij gaat gloeien en licht uitstraalt. Een straalkacheltje levert ook een behoorlijke hoeveelheid warmte die gevormd wordt in het weerstandsdraad van het element. Zo zijn er nog legio voorbeelden te noemen.

Wisselspanning en wisselstroom

Tot nu toe hebben we het steeds gehad over gelijkspanning en gelijkstroom. Hierbij gaat de stroom steeds in dezelfde richting. Ook de polariteit blijft steeds



Afb. 1-8. Grafische voorstelling van een gelijkspanning.



Afb. 1-9. Grafische voorstelling van een wisselspanning.

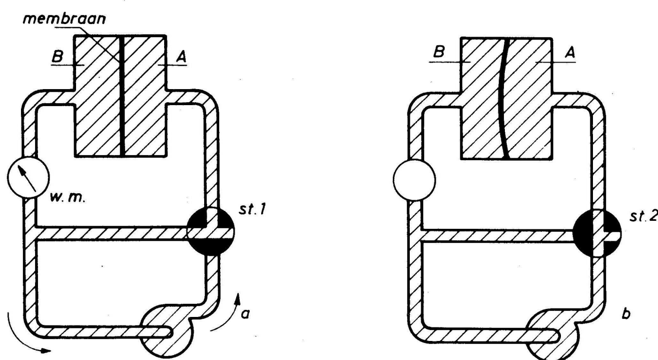
gelijk. In afb. 1-8 is een grafische voorstelling of curve van een gelijkspanning gegeven. Verticaal hebben we de spanning uitgezet. De horizontale as is voor de spanning dus de 0-lijn. Deze as noemen we de tijd-as. Gedurende de gehele tijd blijft de spanning +5 V. Naast de gelijkspanning krijgen we ook te maken met wisselspanning. Een wisselspanning is een spanning die steeds van polariteit wisselt. In afb. 1-9 is het verloop van een wisselspanning getekend.
Bekijken we deze curve van links naar rechts, dan zien we dat de spanning eerst stijgt (positief), na een zekere tijd een maximum bereikt en daarna weer daalt. Op een zeker moment is de spanning weer 0, daalt zelfs nog verder en wordt dus negatief, bereikt een minimum en stijgt weer. Dit gehele proces herhaalt zich steeds. De spanning verandert steeds van polariteit.
Wordt een dergelijke spanning aangesloten op een weerstand, dan zal de stroom door die weeestand eenzelfde verloop te zien geven. Eerst gaat de stroom in de ene richting, wordt groter, bereikt een maximum, daalt dan weer tot 0, keert om en wordt in de andere richting weer groter, enz.
Nu zal ook de naam wisselstroom wel duidelijk zijn. De stroom wisselt steeds van richting. De vorm van een wisselspanning kan heel grillig zijn. Maar wij houden ons alleen bezig met een wisselspanning die een verloop heeft zoals in afb. 1-9. Zo'n spanning heet een sinusvormige wisselspanning. Een dergelijke spanning krijgen we door de elektriciteitscentrale geleverd.
Diverse gedeeltes van zo'n spanningsverloop hebben speciale namen. Het gedeelte van de curve van X tot Y noemen we een periode. In zo'n periode doorloopt de spanning precies de hele golfvorm. De helft van zo'n periode noemt men een fase. Van X tot B hebben we de positieve en van B tot Y de negatieve fase.
Het maximum van de spanning (zowel positief als negatief) heet de topwaarde of amplitude. Dat is dus punt A in afb. 1-9. Het aantal malen, dat de wisselstroom per seconde van richting verandert, noemt men de frequentie.
De frequentie geeft dus het aantal periodes per seconde aan en wordt uitgedrukt in herz (Hz). De normale netspanning heeft een frequentie van 50 Hz. De tijdsduur van een periode is dus 1 : 50 = 0,02 s of 20 ms. Geven we de hoogte van een wisselspanning aan, dan bedoelen we niet de topwaarde of amplitude, maar de effectieve waarde. Aangezien de spanning steeds verschillend is, zal het effect ook steeds variëren.

We kunnen zeggen: De effectieve waarde van een wisselspanning of -stroom, komt overeen met de waarde van een gelijkspanning of -stroom die in dezelfde weerstand evenveel warmte ontwikkelt.
Onze netspanning is 220 V. Dit is dus de effectieve waarde. Die 220 V wisselstroom zal in een weerstand van bijv. 100 Ω evenveel warmte doen ontstaan als een gelijkspanning van 220 V. De topwaarde van de netspanning is dus hoger dan 220 V. We kunnen de topwaarde uitrekenen door de effectieve waarde te vermenigvuldigen met $\sqrt{2}$. (Waarom dat juist $\sqrt{2}$ is, laten we hier maar bui-

ten beschouwing. Dat gaat veel te ver.) Zodoende vinden we als topwaarde van de netspanning $220 \cdot \sqrt{2} \approx 220 \cdot 1{,}4 \approx 310$ V.
Met die topwaarde van een wisselspanning krijgen we nog te maken bij gelijkrichting (zie blz. 41). In een weerstand merken we niets van die steeds wisselende stroom. Hierbij kunnen we dan ook gewoon de Wet van Ohm toepassen.

Capaciteit

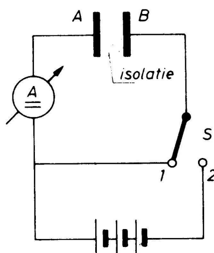
Behalve weerstand zijn er nog meer grootheden, die de elektrische stroom door een keten beïnvloeden. Op één daarvan, nl. de capaciteit, gaan we nog wat dieper in. Om het begrip capaciteit duidelijk te maken, gebruiken we weer een watermodel (zie afb. 1-10). We zien een vat, dat door een dun vlies of membraan in twee gelijke ruimten A en B is verdeeld. Onderaan zien we een waterpomp. In de leiding naar ruimte A is een driewegkraan opgenomen, die twee standen heeft. In de leiding bij ruimte B is nog een watermeter opgenomen.
In stand 2 van de kraan is de ruimte A verbonden met de pomp (afb. 1-10b). In stand 1 (afb. 1-10a) is er een open verbinding tussen de ruimten A en B buiten de pomp om.



Afb. 1-10. Watermodel van een capaciteit.

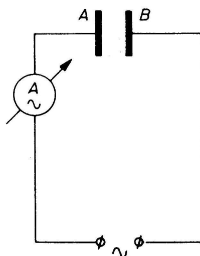
We beginnen met de kraan in stand 1. Het starten van het pompje heeft nog geen enkele invloed op het water in de ruimten A en B. De meter wijst dus nog niets aan. Wanneer we nu de kraan in stand 2 draaien, zuigt de pomp water uit ruimte B en perst dit naar A. Door deze waterverplaatsing komt de meter in beweging. Door het persen van de pomp, wordt er steeds meer water in ruimte A gebracht, waardoor het membraan krom zal gaan staan. Na enige tijd stopt de waterverplaatsing echter, omdat de veerkracht van het membraan de pomp tegenwerkt. De meter komt terug op 0.
Nu draaien we de kraan terug in stand 1. Door de veerkracht van het membraan zal het water uit ruimte A teruggeperst worden naar ruimte B. Dit gaat door, tot

het membraan weer vlak is. Het terugvloeiende water passeert de meter, zodat deze weer uitslaat. Maar nu in de andere richting. De richting van de waterstroom is nu immers andersom.
Nu kijken we naar afb. 1-11 waar de elektrische situatie is getekend. De platen A en B vormen een condensator met een bepaalde capaciteit. Een condensator bestaat in principe uit twee metalen platen die van elkaar zijn gescheiden door een isolator (lucht, papier, plastic, mica, enz.). Onderaan in de tekening zien we een batterij.



Afb. 1-11. Elektrisch model van een capaciteit.

In de leiding naar plaat A is een stroommeter opgenomen. Plaat B kan met de batterij verbonden zijn via schakelaar S. In de getekende stand van de schakelaar gebeurt er niets. De stroommeter wijst dus niets aan. Zoals we al weten, bevat de −pool van de batterij een overschot aan elektronen, terwijl de +pool juist een tekort heeft. Zetten we de schakelaar nu in stand 2, dan gaan er elektronen van de −pool via S naar plaat B. De +pool van de batterij „zuigt" elektronen weg van plaat A. Het gevolg hiervan is dat de stroommeter even uitslaat.
Er is dus elektrische energie verplaatst. Maar al heel vlug staat de meter weer op 0. De condensator heeft nu dezelfde spanning als de batterij. Plaat B is negatief (teveel elektronen) en plaat A is positief (tekort). De schakeling is in rust.
Zetten we nu schakelaar S terug in stand 1, dan zien we de stroommeter weer uitslaan. Maar nu de andere kant op. De elektronen gaan nu van plaat B via S naar plaat A. Zodra de hoeveelheid elektronen op beide platen even groot is,



Afb. 1-12. Condensator aangesloten op een wisselspanning.

stopt de stroom weer en komt de meter terug op 0. Een condensator kan dus elektrische lading „opslaan" maar hij laat geen gelijkstroom door. Vervangen we de batterij nu door een wisselspanningsbron (zie afb. 1-12), dan blijft de stroommeter een bepaalde waarde aanwijzen. (In dit geval wordt natuurlijk een wisselstroommeter gebruikt!) Dat is als volgt te verklaren.
De wisselspanning verandert steeds van richting en de platen van de condensator worden afwisselend geladen en ontladen. De elektronen schieten dus steeds heen en weer en het lijkt alsof de stroom gewoon door de condensator heen gaat. Dat is natuurlijk niet het geval. Door de condensator zelf vloeit helemaal geen stroom, maar in de leidingen wél.
We onthouden dus: Een condensator blokkeert gelijkstroom, maar laat wisselstroom door.
Voor wisselstroom gedraagt een condensator zich als een weerstand. De weerstand is afhankelijk van de grootte van de platen en van de frequentie van de wisselstroom. Hoe groter de platen, hoe lager de weerstand. Verhogen we de frequentie van de wisselstroom, dan daalt de weerstand ook. We spreken bij een condensator echter niet van weerstand, maar van reactantie of impedantie. We gebruiken echter wel als eenheid de Ω of kΩ.
Volledigheidshalve volgt hieronder nog de formule waarmee we de impedantie van een condensator kunnen uitrekenen.

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$$

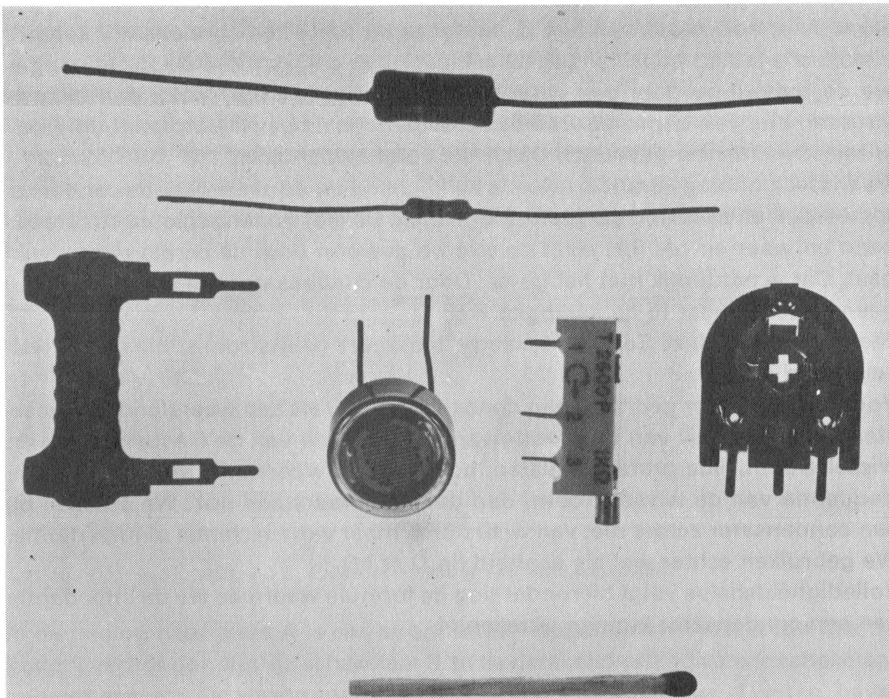
Hierin is: X_c de impedantie van de condensator (Ω);
f de frequentie van de wisselstroom (Hz);
C de capaciteit van de condensator (F).

We kunnen de formule iets vereenvoudigen tot:

$$X_c = \frac{1}{6{,}28 \cdot f \cdot C}$$

1.2. Onderdelen

Een elektronische schakeling is in feite niets anders, dan een verzameling onderdelen, die op de een of andere manier aan elkaar zijn „geknoopt". Om de diverse schakelingen wat gemakkelijker te kunnen bespreken, gaan we nu eerst al die verschillende onderdelen één voor één onder de loep nemen.
We kunnen de elektronische onderdelen, ook vaak componenten genoemd, in twee hoofdgroepen indelen, nl. de passieve en de actieve componenten. Passieve componenten zijn, in tegenstelling tot actieve, niet in staat elektrische stromen te versterken of contactloos te schakelen. De groep passieve onderdelen omvat o.a. weerstanden en condensatoren. De halfgeleiders horen in de tweede groep thuis. We gaan nu beginnen met de passieve componenten.



Afb. 1-13. Weerstanden. Bovenaan twee gewone koolweerstanden. De bovenste is een $^{1}/_{2}$ W- en de onderste een $^{1}/_{4}$ W-type.
Op de onderste rij v.l.n.r.: een zware 10 W draadgewonden weerstand, een LDR (lichtgevoelige weerstand), een 10 slags-instelpotentiometer en ten slotte een enkelslags-koolinstelpotmeter.

Weerstanden

De weerstand is het meest gebruikte onderdeel in een elektronische schakeling. We kunnen weer een onderverdeling maken, nl.:
a. vaste weerstanden;
b. variabele weerstanden of potentiometers.

Vaste weerstanden

Vaste weerstanden kunnen van diverse materialen gemaakt zijn. We kennen o.a. koolweerstanden, metaalfilmweerstanden en draadgewonden weerstanden. Koolweerstanden worden wel het meest toegepast omdat ze het goedkoopst zijn.
Een koolweerstand bestaat uit een buisje van een niet-geleidend materiaal waarop een dunne koollaag is aangebracht. Door lagen van verschillende dikte

aan te brengen, krijgen we diverse weerstandswaarden. Bij een metaalfilmweerstand is de koollaag vervangen door een dunne laag van een speciale metaallegering.
De metaalfilmweerstanden hebben een groot voordeel t.o.v. de koolweerstanden. De weerstandswaarde verandert veel minder wanneer de temperatuur hoger of lager wordt. Maar in onze schakelingen is de waarde meestal niet zo kritisch, zodat we gerust de veel goedkopere koolweerstanden kunnen gebruiken.
Draadgewonden weerstanden bestaan uit een keramisch pijpje, waarop weerstandsdraad is gewikkeld. Dit soort weerstanden wordt meestal gebruikt voor grotere vermogens. Over de eigenlijke weerstandslaag wordt dan nog een beschermende laklaag aangebracht.
De waarde van een weerstand kan op twee manieren worden aangegeven: door cijfers of door gekleurde ringen op het weerstandslichaam. De laatste methode wordt het meest toegepast. Het grote voordeel van die gekleurde ringen is, dat we de waarde altijd duidelijk kunnen aflezen, hoe we de weerstand ook draaien. Met cijfers levert dat nog wel eens moeilijkheden op. Die cijfers zitten natuurlijk altijd uitgerekend aan de onderkant als we een gebouwde schakeling bekijken. Internationaal is er een bepaalde code afgesproken voor die ringen. Elke kleur geeft een bepaald getal aan. De codering is als volgt:

zwart	0
bruin	1
rood	2
oranje	3
geel	4
groen	5
blauw	6
violet	7
grijs	8
wit	9

De waarde van de weerstand wordt aangegeven d.m.v. drie ringen. De buitenste ring geeft het eerste cijfer, de tweede ring het tweede cijfer, terwijl de derde ring het aantal nullen aangeeft dat achter die twee cijfers moet worden geplaatst. Ter verduidelijking een paar voorbeelden.
We hebben een weerstand met achtereenvolgens een gele, een violette en een zwarte ring. Dat is dan 47 Ω. De derde ring is zwart, dus moeten we er 0 nullen achter zetten.

rood–rood–geel
2 2 0000 = 220 000 Ω of 220 kΩ

Bij hoge weerstandswaarden gebruiken we dus de eenheid kΩ. Bij nog hogere waarden zelfs de eenheid MΩ (Mega-ohm = miljoen ohm.)

Tot slot nog een voorbeeld:

bruin–rood–oranje
1 2 000 =12 000 Ω of 12 kΩ

Meestal is er nog een vierde ring. Die ring geeft de zgn. tolerantie of nauwkeurigheid aan.

rood	± 2%
goud	± 5%
zilver	±10%

Ontbreekt de vierde ring helemaal, dan is de tolerantie ± 20%. Hebben we bijv. een weerstand met de ringen

bruin - zwart - rood - goud,

dan is dat dus een weerstand van 1000 Ω ± 5%.
Dat betekent, dat de juiste waarde ligt tussen 1000 + 5% = 1050 en 1000 - 5% = 950 Ω. Hoe kritischer een schakeling is, hoe nauwkeuriger de weerstandswaarde moet zijn. Voor heel speciale meetschakelingen zijn er zelfs weerstanden in de handel met een tolerantie van maar 0,01%. Maar die zijn wel schreeuwend duur. Maar voor ons, eenvoudige modelspoorenthousiasten, zijn de 5%-weerstanden al prima.
Natuurlijk kan een fabrikant niet alle weerstandswaarden gaan maken. Dat is ook niet nodig. In verband met de normalisering zijn er internationaal zogenaamde E-reeksen opgesteld. Voor ons doel is de E 12-reeks voldoende uitgebreid. Met E-12 wordt bedoeld, dat er steeds 12 waarden zijn tussen twee machten van 10. Dus tussen 1 en 10 zijn er 12 waarden, tussen 10 en 100 weer twaalf, enz. Deze waarden zijn:

10 - 12 - 15 - 18 - 22 - 27 - 33 - 39 - 47 - 56 - 68 - 82

Er is nog een belangrijk ding waar we op moeten letten bij het gebruik van weerstanden. Dat is het vermogen van die weerstand. We zagen al, dat een weerstand warm wordt als er stroom doorheen gaat. Om te voorkomen dat een weerstand doorbrandt, moeten we zorgen dat het toelaatbare vermogen van die weerstand groot genoeg is. We kunnen dat gemakkelijk uitrekenen met de Wet van Ohm.

Voorbeeld: Stel dat we een weerstand aansluiten op een spanning van 12 V. De waarde van die weerstand is 100 Ω. Gevraagd wordt het vermogen van die weerstand.
We zagen al, dat het vermogen dat een weerstand verwerkt gelijk is aan

$$P = U \cdot I.$$

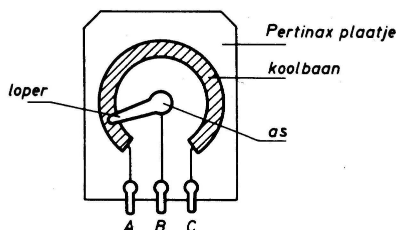
In ons geval moeten we dus eerst de stroom door die weerstand even uitrekenen.

$$I = \frac{U}{R} = 12:100 = 0{,}12\,A$$

Het vermogen dat die weerstand dissipeert, is dus 12 · 0,12 = 1,44 W. Gangbare types zijn $^1/_8$, $^1/_4$, $^1/_2$, 1 en 2 W. In ons voorbeeld moeten we dus een 2 W-weerstand gebruiken. Dus: altijd een hogere waarde gebruiken, dan volgens de berekening nodig is. Komt zo'n berekening precies uit op bijv. 1 W, dan gebruiken we toch liever een 2 W-type. Een ongeluk zit nu eenmaal in een klein hoekje. Zou de spanning om welke reden dan ook eens hoger worden, dan we in onze berekening ingevuld hadden, dan raakt de weerstand overbelast en kan een stinkende rookwolk het gevolg zijn.
In onze schakelingen zullen we meestal kunnen volstaan met $^1/_4$ W- of $^1/_2$ W-weerstanden. Draadgewonden weerstanden worden voor veel grotere vermogens geleverd, 5 - 10 - 20 W en zelfs nog hoger. Dat zijn dan ook bijna straalkacheltjes. Een enkele keer zullen we wel eens een 10 W-weerstand nodig hebben.

Variabele weerstanden

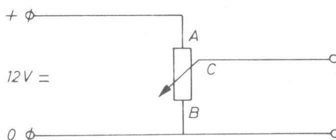
Variabele weerstanden worden meestal potentiometers genoemd. Deze naam korten we dan voor het gemak meestal af tot potmeter. De potmeters nemen een belangrijke plaats in onder de weerstanden.



Afb. 1-14. Opbouw van een potentiometer.

De meest voorkomende types zijn de koolpotmeters. Ze bestaan uit een isolatieplaatje (meestal Pertinax), waarop een koolbaan is aangebracht (zie afb. 1-14). Langs die koolbaan kunnen we een contactborstel bewegen. Die contactborstel heet de loper. Er zijn drie aansluitingen, de twee uiteinden van de koolbaan (A en C) en de loper (B.)
Het geheel is ondergebracht in een metalen omhulsel. De loper is verbonden met een as, zodat we de loper van buitenaf kunnen verdraaien. Een potmeter kunnen we op twee manieren gebruiken. In de eerste plaats als variabele weerstand. We gebruiken dan maar 2 van de 3 aansluitingen, bijv. A en B. Staat

de loper bij A dan is de weerstand 0. Staat hij bij C dan hebben we de totale weerstand van de koolbaan tussen A en B. Het zal nu duidelijk zijn, dat we met de loper elke gewenste waarde tussen 0 en maximum kunnen instellen.
Een tweede gebruiksmogelijkheid is die als variabele spanningsdeler (zie afb. 1-15).



Afb. 1-15. Regelbare spanningsdeler.

A en B zijn aangesloten op een spanning van 12 V. Staat de loper bij A, dan heeft C ook 12 V. Draaien we de loper nu naar beneden, dan zal de spanning op C dalen. Precies in het midden heeft C 6 V. Bij B is de spanning 0 V. Op deze manier kunnen we dus elke gewenste spanning instellen.
Deze beide mogelijkheden zullen we in het vervolg nog diverse keren tegenkomen. De meest gangbare waarden van potmeters zijn: 10 Ω, 50 Ω, 100 Ω, 500 Ω, 1 kΩ, 5 kΩ, 10 kΩ, 50 kΩ, 100 kΩ, 500 kΩ, 1 MΩ en 5 MΩ.
We zijn er in het bovenstaande voorbeeld van uitgegaan, dat de koolbaan gelijkmatig is. Dat zijn de zgn. lineaire potmeters. Er zijn ook potmeters, waarbij de waarde niet lineair, maar logaritmisch verloopt. Aangezien we zulke potmeters in onze schakelingen echter niet gaan gebruiken, vergeten we die maar. Net als bij de vaste weerstanden, bestaan er bij de potmeters ook draadgewonden types. Ze zijn meestal veel duurder dan koolpotmeters, dus vergeten we die ook maar weer.
Een bijzondere uitvoering van de potmeter is de zgn. instelpotmeter. Daarbij zijn het metalen omhulsel en de as weggelaten. De instelpotmeter wordt meestal direct in de schakeling opgenomen. Dit in tegenstelling tot de gewone potmeter, die vrijwel altijd op een frontpaneel wordt aangebracht. Met een schroevedraaiertje kunnen we de loper van de instelpotmeter op de gewenste waarde draaien. Is dit eenmaal gebeurd, dan hoeven we er meestal niets meer aan te doen.

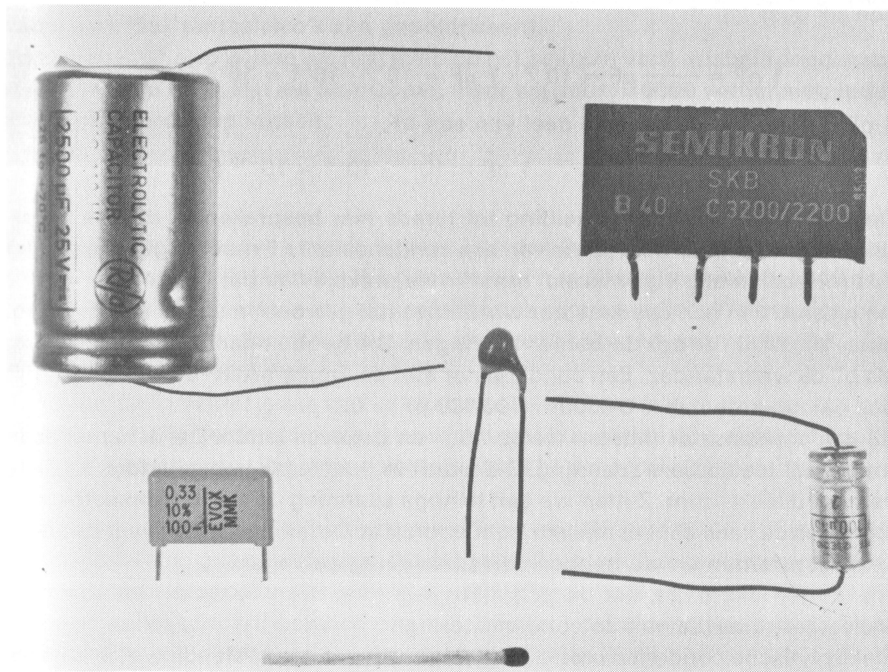
Bijzondere weerstanden

Naast de vaste en variabele weerstanden bestaan er nog een paar heel bijzondere weerstanden, die we nog wel eens tegen zullen komen. We volstaan nu met een korte beschrijving. Zodra we ze in een bepaalde schakeling gaan gebruiken, komen we er uitvoeriger op terug.
Zo hebben we nog NTC (Negatieve Temperatuur Coëfficiënt)-weerstanden. De gewone koolweerstand heeft de eigenschap, dat bij het hoger worden van de

temperatuur ook zijn weerstandswaarde stijgt. Dat noemen we dan een positieve temperatuurcoëfficiënt. Bij de NTC- weerstand daalt die waarde juist bij het warmer worden. Die daling is dan meestal vrij sterk. Heeft een NTC-weerstand bij 0 °C bijv. een weerstand van 100 kΩ, dan is die waarde bij 100 °C gedaald tot ca. 3 kΩ. Deze daling kunnen we voor diverse doeleinden gebruiken. Een andere, ook veel gebruikte, naam voor een NTC-weerstand is „thermistor''.
Een tweede bijzondere weerstand, die we veel zullen gaan gebruiken, is de LDR-weerstand. LDR is de afkorting van de Engelse naam: Light Dependent Resistor (lichtafhankelijke weerstand). Zoals de naam al zegt, is de weerstandswaarde van de LDR afhankelijk van de hoeveelheid licht die erop valt. In het volkomen donker is de waarde meestal zo'n 10 MΩ. In fel zonlicht kan deze waarde dalen tot enkele tientallen Ω. Voor automatiserings- en beveiligingsschakelingen is die sterke weerstandsdaling heel goed te gebruiken.

Condensatoren

Zoals we al hebben gezien, bestaat een condensator in principe uit twee platen gescheiden door een niet-geleider of isolator. Deze isolatielaag wordt meestal



Afb. 1-16. Linksboven zien we een grote aluminium elektrolytische condensator van 2500 µF/25 V. Daarnaast een bruggelijkrichter B40C3200/2200.
Op de onderste rij v.l.n.r.: een metaal-papiercondensator, in ingegoten uitvoering, een condensator in druppeluitvoering en ten slotte nog een kleine elco.

diëlektricum genoemd. We geven een condensator meestal een naam, die is afgeleid van de soort isolatie tussen de platen.
De condensatoren kunnen we verdelen in twee hoofdgroepen, nl. de droge condensatoren en de elektrolytische condensatoren. Tot de eerste groep behoren o.a. de mica-, metaal-papier-, polycarbonaat- en mylar-condensatoren. In groep twee vinden we dan de elco's en de tantaalelco's.
Belangrijk bij een condensator is uiteraard de capaciteitswaarde.
Zoals we al zagen, is de eenheid van capaciteit de farad (F). Deze waarde is echter veel te groot voor praktisch gebruik. Een condensator van 1 F is een enorm ding. Daarom gebruiken we in de praktijk de uitdrukkingen: microfarad, nanofarad en picofarad. 1 microfarad (μF) is het miljoenste deel van een farad. Zodra we zulke kleine getallen gebruiken, schrijven we dat liever in machten van 10. Zo is;

$$1\,\mu F = \frac{1}{\text{miljoen}} = \frac{1}{1\,000\,000} = \frac{1}{10^6} = 10^{-6}\ F$$

Bij de gewone, droge condensatoren is zelfs 1 μF nog heel wat. Daarom gebruiken we de nanofarad (nF) en de picofarad (pF). 1 nF is het duizendste deel van een μF dus:

$$1\ nF = \frac{1}{1000}\,\mu F = 10^{-3} \cdot 1\ \mu F = 10^{-3} \cdot 10^{-6} = 10^{-9}\ F$$

1 pF is weer het duizendste deel van een nF,

$$1\ pF = 10^{-3} \cdot 1\ nF = 10^{-3} \cdot 10^{-9} = 10^{-12}\ F$$

De reden, dat we deze herleiding tot farads hier bespreken is, dat we in berekeningen meestal de waarde van een condensator in F moeten gebruiken. Het lijkt misschien erg ingewikkeld, maar in de praktijk valt dat best mee.
De waarde van een condensator wordt meestal gewoon in cijfers aangegeven. Maar soms zijn er ook de beroemde ringen. Die hebben dan dezelfde codering als bij de weerstanden. Een condensator met de ringen bruin - zwart - geel heeft dus een waarde van 1-0-0000 = 100 000 pF = 0,1 μF.
Bij een condensator moeten we op nóg een gegeven letten. Dat is namelijk de maximaal toelaatbare spanning. Die wordt in hoofdzaak bepaald door de dikte van het diëlektricum. Zetten we een te hoge spanning op een condensator, dan lopen we de kans dat het diëlektricum doorslaat. De lading kan vrij naar de andere plaat stromen en we hebben een kortsluiting gekregen.
We zorgen dus altijd, dat de gebruikte spanning ruim beneden de maximaal toelaatbare waarde van de condensator ligt.
Elektrolytische condensatoren zijn speciale uitvoeringen. Met deze elco's, zoals we ze meestal noemen, kunnen we veel hogere capaciteitswaarden bereiken. Een droge condensator van 10 μF/50 V is al een heel ding, maar bij elco's kunnen we gerust waarden van 10 000 μF bereiken.
Ook bij elco's geldt weer, dat we moeten oppassen voor die maximaal toelaatba-

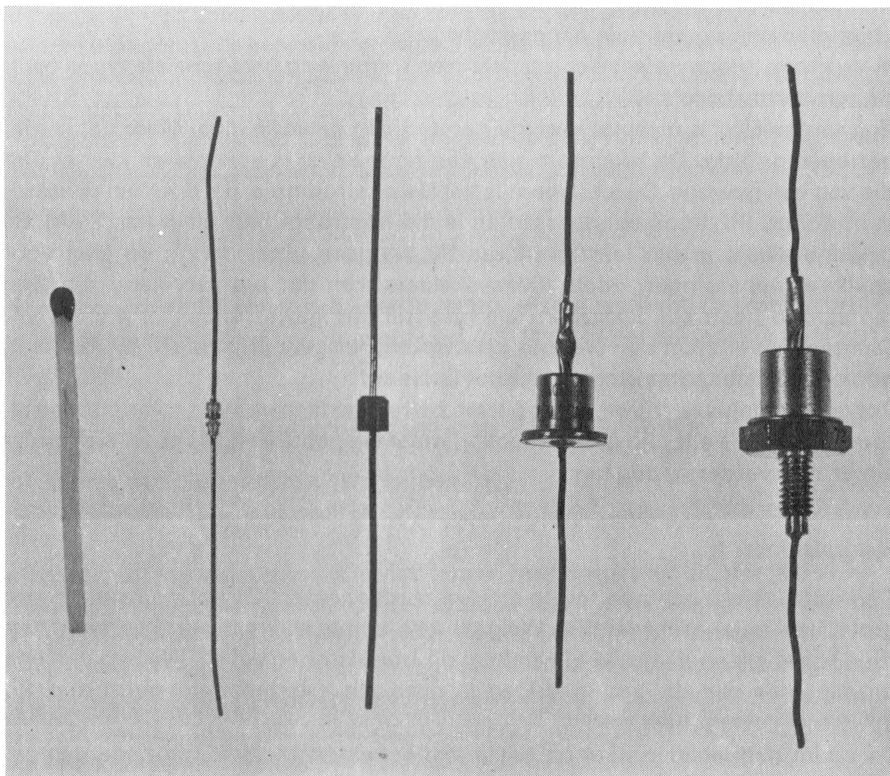
re spanning. Het wordt dan ook altijd op het huis aangegeven, bijv. 1000 μF/25 V. In zo'n geval mag de spanning dus beslist nooit hoger zijn dan 25 V. Doen we dit toch dan lopen we de kans dat de elco ontploft. En heus, zo'n klein ding kan een behoorlijke knal veroorzaken. Dus opgepast.
Bij de elco's is er ten slotte nog een belangrijk punt: elco's zijn *gepolariseerd*, d.w.z. dat een elco (net als een batterij) een plus- en een minpool heeft. Ook daar moeten we ons strikt aan houden, op straffe van een knal. De + en de – zijn altijd duidelijk op het huis aangegeven.
In de groep elektrolytische condensatoren komen nog heel speciale types voor, de zgn. tantaalelco's.
Een tantaalelco is meestal veel kleiner dan een gewone elco. Maar dat is niet het belangrijkste. De lekstroom van een tantaalelco is vele malen kleiner dan die van een gewone. De lekstroom is het kleine stroompje, dat door het diëlektricum dringt. Bij droge condensatoren is die lekstroom heel klein (ca. 1 μA). Bij gewone elco's is een lekstroom van 50 μA geen uitzondering en juist voor speciale toepassingen, zoals tijdschakelaars, kan dat erg vervelend zijn. Een tantaalelco heeft een lekstroom die meestal niet groter is dan zo'n 5 à 6 μA. Daartegenover staat dan wel een aanmerkelijk hogere prijs. Maar ja, voor wat, hoort wat. Ook tantaalelco's zijn gepolariseerd.
Volledigheidshalve wijzen we nog even op het bestaan van variabele condensatoren. In radio's e.d. zijn die onmisbaar, maar wij gebruiken ze verder niet, zodat we er niet verder op ingaan.

Halfgeleiders

De halfgeleiders behoren tot de actieve componenten. Ze vormen samen een grote, heel belangrijke familie. We gaan ze hier niet alleen bespreken, want dan zouden we alleen daarmee al een heel dik boek kunnen vullen. We bepalen ons tot die leden van de familie, die we in onze schakelingen gaan gebruiken. En dat zijn er toch al heel wat.
De naam halfgeleider slaat op het materiaal waarvan deze componenten gemaakt zijn. Halfgeleidende materialen staan wat hun elektrische eigenschappen betreft ergens tussen de goede geleiders, zoals koper en zilver, en de isolatoren in.
De theorie van deze halfgeleidende materialen is vrij ingewikkeld, zodat we ons daar maar niet in gaan verdiepen. Op dat gebied zijn er diverse uitstekende boeken verschenen, zodat we diegenen die er wat meer van willen weten naar die bronnen verwijzen. Wij bepalen ons nu alleen tot die eigenschappen die voor een goed begrijpen van de schakelingen noodzakelijk zijn.
Bekende halfgeleidende materialen zijn o.a.: selenium (Se), germanium (Ge), silicium (Si), galliumarsenide (GaAs) en galliumfosfide (GaF).
Silicium wordt tegenwoordig voor transistoren en dergelijke het meest toegepast.

Dioden

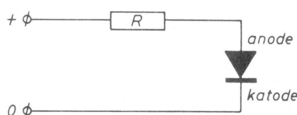
De diode is de eenvoudigste halfgeleider. De werking ervan kunnen we het beste vergelijken met die van een ventiel. Een ventiel laat maar in één richting lucht door, een diode laat maar in één richting stroom door.
De twee aansluitingen van een diode hebben speciale namen, nl. anode en katode.



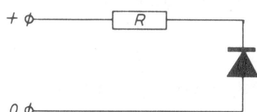
Afb. 1-17. Dioden.
Van links naar rechts: kleinsignaaldiode (50 mA) 1N914, 1A-diode 1N4001, een 2 A-diode en een zgn. „stud mounted"-diode voor 5 A. Door middel van de M 4-schroefdraad kan deze diode gemakkelijk op een koelplaat worden gemonteerd.

Sluiten we een diode nu zó aan, dat de anode positief is t.o.v. de katode, dan is de diode in *doorlaatrichting* aangesloten (zie afb. 1-18). In de anodeleiding is een weerstand R aangebracht omdat de diode anders direct zou verbranden. Een diode heeft namelijk in doorlaatrichting nog een kleine weerstand. En zelfs een kleine weerstand levert bij een grote stroom toch nog een behoorlijke hoeveelheid warmte op. In ieder geval meer dan de diode kan verdragen. Keren we

de diode om, dan kan er geen stroom meer door. Dit noemen we de sperrichting (zie afb. 1-19).
Maar ja, niets is volmaakt en dus ook een diode niet. In sperrichting kan er toch nog een heel klein stroompje door. Dat noemen we de lekstroom.
Samenvattend kunnen we zeggen: een diode heeft in doorlaatrichting een heel kleine en in sperrichting een heel hoge weerstand.
Wel moeten we altijd goed letten op de maximaal toelaatbare sperspanning. Dat is de maximale spanning die we op een diode mogen aansluiten in sperrichting. Zetten we bijvoorbeeld op een diode die bedoeld is voor 50 V een spanning van 300 V dan is de kans erg groot, dat de diode doorslaat. Dat kan in een schakeling heel nare gevolgen hebben.

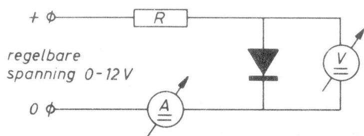


Afb. 1-18. Diode in doorlaatrichting geschakeld.



Afb. 1-19. Diode in sperrichting geschakeld.

In onze schakelingen zullen we daar echter weinig last van hebben, omdat we toch nooit met hoge spanningen werken. Elke normale diode kan toch altijd wel op zijn minst zo'n 25 V verdragen.
Ook de maximaal toelaatbare stroom door een diode is iets om in de gaten te houden. We zagen al dat een diode in doorlaatrichting toch nog een zekere weerstand heeft. Bij een stroomdoorgang boven het maximaal toelaatbare, zal hij te heet worden en doorbranden. Bij een diode wordt dan ook altijd opgegeven: de maximale sperspanning en de maximaal toelaatbare stroom.
De diode heeft nóg een eigenschap, die voor ons erg belangrijk is, nl. de vrijwel constante spanningsval. In afb. 1-20 zien we een diode in doorlaatrichting met in serie een weerstand R en een ampèremeter. De voedingsspanning is continu regelbaar tussen 0 en 12 V. Over de diode, dus parallel ermee, is een voltmeter aangebracht.

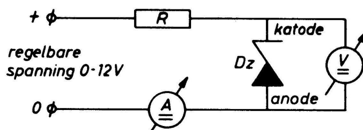


Afb. 1-20. Bepaling van de spanningsval over een in doorlaatrichting geschakelde diode.

We beginnen met een spanning van 0 V. Er loopt dus helemaal geen stroom en de volt- en ampèremeter staan beide op 0. Nu verhogen we heel langzaam de spanning. De voltmeter zal even langzaam oplopen. Maar in het begin zal de ampèremeter op 0 blijven staan. Er gaat dus nog steeds geen stroom door de diode. Pas als de voltmeter ongeveer 0,6 V aanwijst, zal er beweging in de ampèremeter komen. Verhogen we de spanning verder, dan slaat de ampèremeter verder uit. Er loopt dus steeds meer stroom door de diode. De voltmeter blijft echter op vrijwel 0,6 V staan. Zelfs als de spanning 12 V is, staat die voltmeter nog steeds op ca. 0,6 V.
Dit is nu die constante spanningsval. Een Si-diode gaat dus pas geleiden als de spanning groter is dan 0,6 V. Daarna blijft de spanningsval vrijwel constant 0,6 V ongeacht de grootte van de stroom. Dit is een heel belangrijke eigenschap van de diode, die we nog vaak dankbaar zullen gebruiken. (Bij een Ge-diode is die spanningsval ca. 0,3 V.)
Dioden komen in veel soorten en maten voor. Vrijwel steeds wordt de katode gemerkt met een gekleurde stip of ring. Verder moeten we dan nog altijd weten hoe groot de stroom mag zijn en of we met een Ge- of een Si-diode te doen hebben. Daarom staat er altijd een apart typenummer op gedrukt.

De zenerdiode

Een zenerdiode is een heel speciale diode. In doorlaatrichting gedraagt een zenerdiode zich net als iedere andere diode, maar in sperrichting wordt het heel anders. In afb. 1-21 is een zenerdiode (Dz) getekend.



Afb. 1-21.

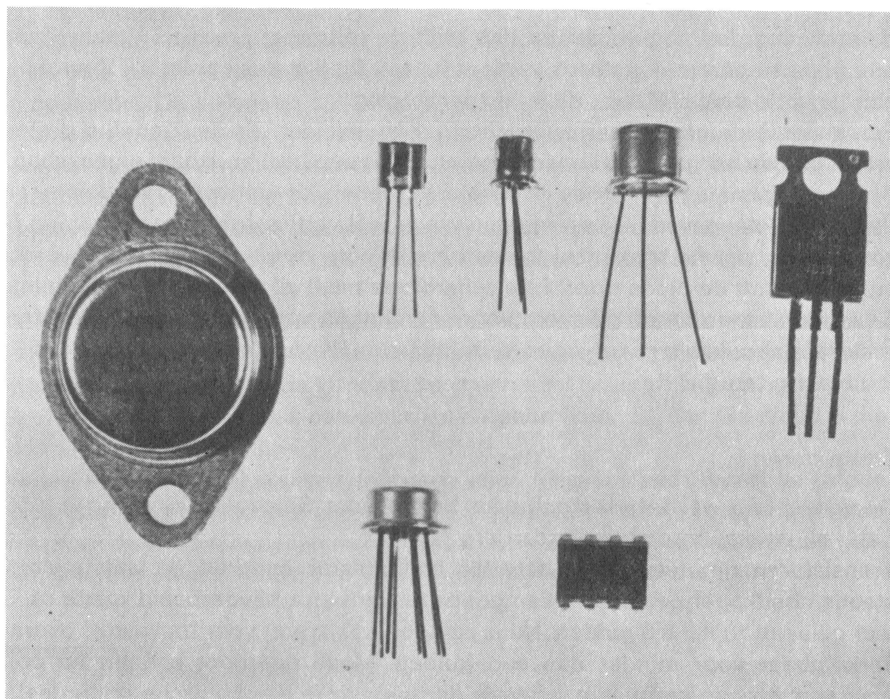
Zoals we zien, is het schemasymbool iets anders dan dat van de gewone diode. De katode is verbonden met de +. Hij staat dus in sperrichting. Weerstand R dient weer om de stroom binnen de perken te houden. Met een voltmeter meten we weer de spanning die over de zenerdiode staat, terwijl de ampèremeter de stroom aangeeft.
Bij een zenerdiode wordt altijd een spanning opgegeven. Dat is niet de maximale sperspanning maar de zenerspanning. Stel dat we een diode hebben met een zenerspanning van 6 V. We beginnen weer met de voedingsspanning op 0 en draaien die dan langzaam op. Mét de voedingsspanning zal de spanning over de zenerdiode oplopen. De ampèremeter geeft niets aan, er loopt dus geen stroom. Dit blijft zo tot we een spanning van 6 V bereikt hebben. Draaien we

de spanning dan nog verder op dan blijft de voltmeter precies 6 V aanwijzen terwijl de ampèremeter steeds verder uitslaat. Dit lijkt dus op dat 0,6 V-punt bij een gewone diode. Maar... dit is in *sperrichting!.*
Een zenerdiode gaat dus in sperrichting toch geleiden als de spanning groter wordt dan de aangegeven zenerspanning. Dit is een heel bruikbare eigenschap. Wat voor spanning we ook op de schakeling zetten, de voltmeter zal nooit meer dan ca. 6 V aangeven. Alleen moeten we er wél voor zorgen, dat weerstand R zó groot is, dat de maximaal toelaatbare stroom nooit overschreden wordt, anders brandt de diode door. Elke zenerdiode heeft zijn eigen zenerspanning. Er worden zenerdioden geleverd voor spanningen van 1 tot 300 V. Ze worden meestal gebruikt om spanningen te stabiliseren. Hierop komen we in hoofdstuk 2 uitvoerig terug.

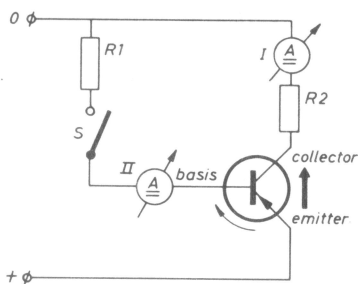
Transistoren

De transistor is wel de meest gebruikte halfgeleider. Sinds zijn uitvinding in 1950 heeft hij werkelijk een bliksemcarrière gemaakt.
Transistoren zijn, iets wat in deze tijd heel vreemd aandoet, de laatste jaren steeds goedkoper geworden. Een goede Si-transistor bijvoorbeeld kostte ca. 5 jaar geleden zo'n 5 à 6 gulden. Nu is zo'n tor (vakjargon voor transistor) overal verkrijgbaar voor minder dan een gulden. Mede daardoor kunnen nu ook amateurs kwistig gebruik maken van dit magnifieke elektronische onderdeel. De naam transistor is een samenvoeging van de begrippen *trans*formator en res*istor* (Engels voor weerstand.)
We kennen twee soorten transistoren nl. de pnp- en de npn-transistoren. Die voorvoegsels pnp en npn slaan op de innerlijke structuur. We gaan daar niet verder op in maar bepalen ons tot de werking. Een transistor heeft drie aansluitingen, de basis, de collector en de emitter, afgekort tot b, c, en e. We kunnen de werking het gemakkelijkst verklaren aan de hand van een proefje. Zie hiervoor afb. 1-23.

De emitter van de getekende pnp-tor is verbonden met + 12 V. Terwijl de collector via weerstand R2 en ampèremeter I verbonden is met de 0. De basis is via ampèremeter II, schakelaar S en weerstand R1 ook met de 0 verbonden. Zolang schakelaar S open staat, kan er geen stroom door de transistor vloeien. Beide ampèremeters staan dus op 0.
Sluiten we S, dan gaat er wél iets gebeuren. Vanaf de + gaat er een stroom lopen door de emitter naar de basis en vervolgens door II, de gesloten schakelaar S en weerstand R1 naar de 0. Deze stroom heeft nog iets anders tot gevolg. Er kan nu namelijk ook stroom lopen van de emitter naar de collector en verder door I en weerstand R2 naar de 0. Het blijkt dat de stroom door II (de basisstroom) veel kleiner is dan die door I (de collectorstroom). De collectorstroom kan wel honderd maal groter zijn dan de basisstroom. Dit noemen we dan ook



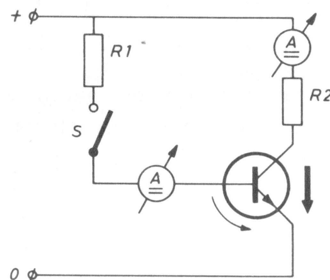
Afb. 1-22. Transistoren. Links ,,het werkpaard van de elektronica'', de 2N3055. Op de bovenste rij v.l.n.r.: een BC 212 in plastic-omhulling, een BC 107 in een metalen TO-18 huis, een 2N2219 in TO-5 en ten slotte een 8 A-transistor, TIP 32. Daaronder een tweetal geïntegreerde schakelingen. Links een IC in een 10 pens TO-5 behuizing met daarnaast een 8 pens plastic DIL, de NE 555.



Afb. 1-23. Werking van de pnp-transistor.

stroomversterking. S schakelt dus het basisstroompje, dat op zijn beurt de veel grotere collectorstroom inschakelt.
Dit is natuurlijk maar een heel summiere benadering van de werking. Bij de be-

spreking van de diverse schakelingen gaan we er nog wel wat dieper op in. We volstaan nu met te zeggen, dat als de basis van een pnp-transistor negatief is t.o.v. zijn emitter hij in geleiding is. We brachten immers de basis S op het 0-niveau en dat is negatief t.o.v. de +.
Nu blijkt verder, dat de basis-emitterovergang zich gedraagt als een normale diode. Bij een pnp-Si-tor zal de basis dus minstens 0,6 V negatief moeten zijn t.o.v. zijn emitter om dat basisstroompje door te laten. Daarna zal de spanningsval dan ook ca. 0,6 V blijven. Het pijltje in de emitter geeft deze diode aan. De emitter is dus de anode en de basis de katode.
De werking van de npn-transistor is precies eender. Alleen zijn daarbij de spanningen omgekeerd. Zie afb. 1-24. De collector is nu verbonden met de + en de emitter met de 0. We maken de basis dus positief t.o.v. de emitter. Maar ook nu is de basis-emitterspanning steeds 0,6 V, tenminste als we een Si-tor hebben. Bij een Ge-tor zal die spanningsval maar 0,3 V zijn. Aan het pijltje in de emitter kunnen we altijd direct zien of we met een pnp- of een npn-transistor te maken hebben. Op de transistoren zelf staat meestal alleen maar een typenummer en we moeten aan de hand daarvan maar uitzoeken wat voor soort we in handen hebben.



Afb. 1-24. Werking van de npn-transistor.

Wijst het pijltje in de emitter naar buiten, dan hebben we een npn-, in het andere geval een pnp-transistor. We moeten in schakelingen altijd goed opletten, dat we deze twee soorten transistoren nooit verwisselen, anders gebeuren er ongelukken. Er zijn honderden verschillende transistortypes. Elk type heeft zijn eigen specifieke eigenschappen, maar de principiële werking is van allemaal gelijk. We zullen bij onze schakelingen het aantal verschillende types zoveel mogelijk beperken, anders zien we op een gegeven moment door de bomen het bos niet meer.
Net als bij de diode moeten we weer een aantal door de fabrikant opgegeven maximaalwaarden in de gaten houden. In de eerste plaats de maximale spanning. Maar aangezien we bij de modelspoorbaan toch vrijwel nooit boven de 15 V uitgaan is dat voor ons niet van zo'n erg groot belang. Praktisch elke transistor is bruikbaar tot minstens 20 V. Er zijn tegenwoordig zelfs transistoren

die kunnen werken bij een spanning van wel 300 V, maar de prijs is dan wel evenredig hoog.
Wat voor ons erg belangrijk is, dat is de maximale collectorstroom. Daar mogen we onder geen enkele voorwaarde bovenuit komen. Op dat gegeven verdelen we de transistoren in drie groepen:

1. Laagvermogen-transistoren: voor collectorstromen tot 200 mA.
2. Middenvermogen-transistoren: voor stromen tot 1 A.
3. Grootvermogen-transistoren: voor stromen boven de 1 A.

We zullen in onze schakelingen met alle drie soorten te maken krijgen.
Een derde punt van belang, hoewel minder dan de twee voorgaande, is de stroomversterkingsfactor. Hiermee bedoelen we de verhouding tussen de basis- en de collectorstroom. Is in een bepaalde schakeling bijvoorbeeld de basisstroom 10 mA en de daardoor ontstane collectorstroom 1 A, dan is de stroomversterkingsfactor 1000 : 10 = 100.
Er zijn transistoren waarbij die stroomversterkingsfactor wel 1000 bedraagt. Maar gelukkig behoeven we ons in de meeste schakelingen niet zo druk te maken over die stroomversterkingsfactor. Een vrij lage versterkingsfactor is vaak al genoeg.

Verder geeft de fabrikant dan meestal nog een aantal waarden op o.a. de diverse lekstromen. Maar aangezien die bij de Si-transistoren toch zo ontzettend klein zijn, leggen die geen enkel gewicht in de schaal.
De laagvermogen-transistoren worden meestal in een goedkope plastic uitvoering geleverd. Op de transistor zelf staat vrijwel nooit aangegeven hoe we hem moeten aansluiten. In de tabel op blz. 159 staan die aansluitingen duidelijk aangegeven. Zo'n tekening is dan altijd van onderen af gezien, dus met de draden omhoog.
De midden- en grootvermogen-transistoren worden, in verband met een betere warmteafvoer, meestal in metaal uitgevoerd. Vaak is de collector inwendig verbonden met de metalen omhulling, zodat daar spanning op komt te staan. Gevaarlijk is dat natuurlijk niet, maar we moeten wel oppassen voor kortsluiting. Bovendien worden grootvermogen-transistoren dan nog vaak op een metalen grondplaat bevestigd, om de ontwikkelde warmte nog sneller af te voeren.
Ter onderscheiding van andere soorten transistoren worden de pnp- en npn-torren bipolaire transistoren genoemd.

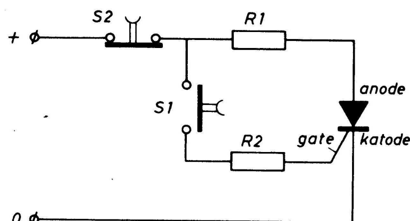
Daarnaast hebben we dan nog veldeffecttransistoren (FET's), MOS-veldeffect-transistoren (MOS-FET's), drukgevoelige transistoren, magneetafhankelijke transistoren, enz. Maar deze halfgeleiders bespreken we in dit boek niet, hoe interessant ze ook zijn. In de volgende paragrafen zullen we nog wel enkele speciale halfgeleiders, die we wél gaan toepassen, de revue laten passeren.

De Uni-Junction-Transistor

De naam Uni-Junction-Transistor korten we altijd af tot UJT. Ook bij de UJT's kennen we weer twee types, die worden aangeduid als p- en n-types. De werking van een UJT is heel anders dan die van een bipolaire transistor. Zodra we ze in een schakeling toepassen, gaan we op die werking in.

De bestuurbare gelijkrichter of thyristor

Een bestuurbare gelijkrichter wordt ook vaak „thyristor" genoemd. De Engelse naam is ook wel Silicon Controlled Rectifier, afgekort tot SCR. Deze afkorting komen we nogal eens tegen in schema's. De naam bestuurbare gelijkrichter dekt de lading volkomen. Zoals we aan het schemasymbool kunnen zien, is het een diode. Maar deze diode heeft nog een derde aansluiting (zie afb. 1-25). Deze derde „poot" heet gate of poort. De werking van deze halfgeleider is als volgt:
De diode wordt normaal in doorlaatrichting aangesloten. Maar zolang we S1 nog niet hebben ingedrukt, blijft de diode gesperd. Er loopt dus geen stroom door R1. Drukken we S1 nu even in, dan gaat de thyristor geleiden en vloeit er normaal stroom, ook als we S1 direct weer loslaten. Eenmaal gestart, blijft de thyristor dus open. Om hem weer in de spertoestand te krijgen, moeten we even de totale stroom onderbreken. Drukken we dus S2 in, dan wordt de stroom onderbroken en gaat de thyristor weer dicht. Na loslaten van S2 komt de voedingsspanning dus weer gewoon terug, maar blijft de thyristor gesperd.



Afb. 1-25. Principe van de thyristor.

Eerst moeten we dus weer even een positieve spanning op de gate brengen. Weerstand R2 heeft tot taak de gatestroom klein te houden.
Een thyristor fungeert dus eigenlijk als een soort relais met houdcontact. Op onze modelbaan kan hij zeer nuttige diensten bewijzen. Ook thyristoren kennen we in vele uitvoeringen. In metaal of plastic voor grote en kleine vermogens enz.

Geïntegreerde schakelingen of IC's

Vanaf het begin van de halfgeleiderelektronica hebben de fabrikanten steeds getracht nieuwe en nog ingewikkelder componenten te fabriceren. Dank zij bete-

re halfgeleidende materialen konden ze steeds ingewikkelder schakelingen realiseren. Maar men probeerde tevens deze schakelingen zo klein mogelijk te maken. Miniaturisering heet dat. En juist de ruimtevaart heeft de grootste stoot gegeven aan deze microtechniek.

Tegenwoordig is er een groot aantal zogenaamde geïntegreerde schakelingen op de markt. Deze lange naam korten we meestal af (van de Engelse benaming Integrated Circuits) tot IC. Een IC is in feite een complete elektronische schakeling, maar dan verregaand geminiaturiseerd.

Op een minuscuul plaatje silicium, chip genaamd, zijn diverse transistoren, dioden en weerstanden aangebracht. De fabrikage van een dergelijke chip is erg ingewikkeld en vergt heel speciale apparatuur. De afmetingen van een chip zijn zelden groter dan 2 × 2 mm. Toch zitten hier zo'n 20 transistoren en 15 weerstanden op.

Doordat de chip meestal een groot aantal aansluitingen heeft, worden de uitwendige afmetingen van de behuizing veel groter. De IC's worden in verschillende uitvoeringen in de handel gebracht. We kennen de ronde metalen behuizing, de zgn. TO-5. Dat is dezelfde behuizing die gebruikt wordt voor een aantal middenvermogen-transistoren, alleen zijn er dan geen 3 maar 8, 14 of zelfs 16 aansluitingen. Soms wordt de chip ondergebracht in een TO-3-behuizing. Dat gebeurt dan meestal bij schakelingen die nogal wat vermogen moeten kunnen dissiperen. De warmteafvoer in zo'n behuizing is beter.

Een ook zeer veel voorkomende behuizing is de zgn. DIL (afkorting van Dual In Line). Hierbij zijn de aansluitingen in twee evenwijdige rijen aangebracht. Het omhulsel is dan meestal van plastic. Zo kennen we 8, 14, 16 en 24 pens DIL-IC's. In afb. 1-22 zien we naast de transistoren een 8 pens DIL-IC. De IC's worden in twee hoofdgroepen ingedeeld: de *lineaire* en *digitale* IC's. Het onderscheid tussen deze twee groepen laten we nu maar rusten, omdat we daarmee wel een hoofdstuk zouden kunnen vullen. In onze schakelingen gebruiken we alleen lineaire IC's. Niet omdat die beter zijn, maar omdat dat toevallig zo uitkomt.

De digitale IC's worden gebruikt in een speciale tak van de elektronica, de Digitale Techniek. Hoewel de toepassing van deze techniek op de modelbaan heel goede perspectieven biedt, kunnen we daar in dit boek helaas niet verder op ingaan.

2. De voeding van de modelbaan

2.1. De theorie

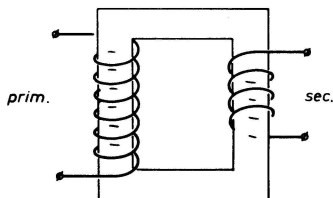
De keuze van het systeem

Zodra iemand het plan opvat om een modelspoorbaan te gaan beginnen, komt hij al direct voor een moeilijke keus. Welk systeem moet hij kiezen? Het gelijk- of het wisselstroomsysteem?
We gaan hier geen pleidooi voor één van beide systemen houden. Aangezien echter elektronische schakelingen altijd met gelijkstroom gevoed worden, ligt het voor de hand, ook voor de voortbeweging van de treinen gelijkstroom te gebruiken.
Daaruit volgt, dat het merendeel van de in dit boek voorkomende schakelingen bedoeld is voor de gelijkstroombaan, hoewel een aantal ervan zich ook op een wisselstroombaan goed thuis zullen voelen. Maar ook in het gelijkstroomsysteem zijn nog diverse variaties. We kennen het zgn. 2- en 3-railsysteem, al of niet gecombineerd met bovenleiding.
Alle schakelingen in dit boek die betrekking hebben op de voortbeweging van treinen zijn gebaseerd op het 2-railsysteem. Juist omdat dit wel het meest gebruikte systeem is. Bovendien kan iedereen, die de schakelingen begrijpt, deze zonder meer aanpassen voor een van de andere gelijkstroomsystemen.

De transformator

De eenvoudigste gelijkstroombron is natuurlijk de batterij. Maar het wordt al gauw een dure aangelegenheid steeds nieuwe batterijen te moeten kopen. Modeltreinen „lusten" nogal wat stroom, dus zijn de batterijen snel uitgeput. Zoiets gebeurt dan natuurlijk uitgerekend op zondag, als de winkels gesloten zijn en we niet even vlug nieuwe kunnen gaan halen. We gaan de zaak daarom direct grondig aanpakken.
We betrekken de voeding voor onze treinen van een leverancier die ook op zondag „open" is: de elektriciteitscentrale.
Deze levert ons 220 V wisselspanning. Deze spanning is veel te hoog en ook de stroomsoort deugt niet voor ons doel. Eerst gaan we, met behulp van een transformator, iets aan die te hoge spanning doen.

Een transformator bestaat uit een ijzeren kern, met daarop twee spoelen (zie afb. 2-1). De kern is meestal opgebouwd uit op elkaar gestapelde dunne reepjes blik. De spoel waarop de netspanning komt, noemen we de *primaire* en de andere de *secundaire* spoel. De primaire spoel bestaat uit een groot aantal windingen dun koperdraad, terwijl de secundaire veel minder windingen heeft van dikker draad. Door het wisselende magnetische veld, dat door de primaire spoel in de kern wordt opgewekt, onstaat er over de secundaire spoel weer een wisselspanning. De verhouding tussen het aantal primaire en secundaire windingen bepaalt de spanning op de secundaire spoel.



Afb. 2-1. Principe van de transformator.

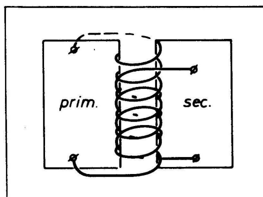
Hebben we bijvoorbeeld een primaire spoel met 2000 windingen en een secundaire met 100, dan wordt de spanning:

$$\frac{100}{2000} \cdot 220 = 11 \text{ V}$$

Met de stroom is het juist andersom.
Nemen we aan de secundaire kant bijvoorbeeld 1,2 A af, dan stroomt er door de primaire

$$\frac{100}{2000} \cdot 1{,}2 = 0{,}06 \text{ A} = 60 \text{ mA}$$

Dat is dus de reden, dat de secundaire spoel draad moet bevatten met een veel grotere diameter.
De secundaire spoel wordt meestal over de primaire heen op dezelfde vorm gewikkeld. De kern heeft dan een vorm zoals aangegeven in afb. 2-2. De spoel

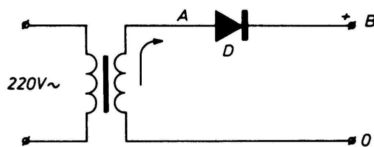


Afb. 2-2. Schematische voorstelling van de meest gebruikelijke uitvoering.

wordt op het middelste been geschoven. De wikkelingen bestaan uit zogenaamd emaildraad, dat is koperdraad met een laag lak erop aangebracht, om te voorkomen, dat de windingen onderling kortsluiting zouden maken.
Tussen het primaire en secundaire gedeelte van de spoel wordt dan meestal nog een extra isolatie, in de vorm van een dunne laag plasticfolie aangebracht. Dit is met het oog op de veiligheid erg belangrijk. De voedingsspanning van onze modelbaan staat altijd volkomen onafgeschermd op de rails en andere punten. We raken die punten geregeld met de vingers aan. Zou er nu een kortsluiting ontstaan tussen de primaire en de secundaire van de trafo, dan komt er 220 V op die punten te staan, met alle gevaren van dien. Daarom is het van het grootste belang, dat we altijd veilige trafo's gebruiken. Bij de aanschaf van een trafo moeten we dus altijd vragen of er een goede afscherming tussen de primaire en secundaire spoel aangebracht is.
We kunnen de benodigde trafo's natuurlijk ook zelf maken, maar het is veel werk en loont beslist de moeite niet. Het is ook niet nodig de speciale speelgoedtransformatoren te kopen, die volgens de fabrikanten bij een bepaald soort baan horen. Losse trafo's zijn aanmerkelijk goedkoper en bieden bovendien veel meer mogelijkheden.

Het gelijkrichten van wisselstroom

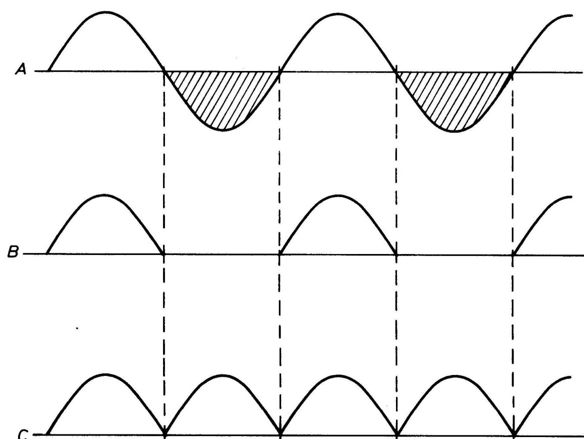
Aan de secundaire kant van de transformator hebben we nu dus een wisselspanning van het juiste voltage. (Meestal zal dat zo'n 12 tot 15 V zijn.) Die wisselspanning gaan we omzetten in een gelijkspanning. De eenvoudigste gelijkrichtschakeling is in afb. 2-3 weergegeven. Als gelijkrichter wordt hier een enkelvoudige diode gebruikt. Vóór de diode (in punt A) hebben we dus een gewone wisselspanning (zie afb. 2-4a).



Afb. 2-3. Schakelschema voor enkelfasige gelijkrichting.

Zolang de spanning positief is, zal de diode geleiden en de spanning aan de uitgang volgt precies de spanning op punt A. Maar na de nuldoorgang van de wisselspanning gaat de diode sperren. De negatieve fase kan dus niet door de diode heen en de spanning op de uitgang is nu 0 V. Dit heet enkelfasige gelijkrichting. We krijgen met deze gelijkrichting een spanningsverloop zoals getekend in afb. 2-4b.
Deze methode is erg oneconomisch, omdat we maar de helft van de wisselspan-

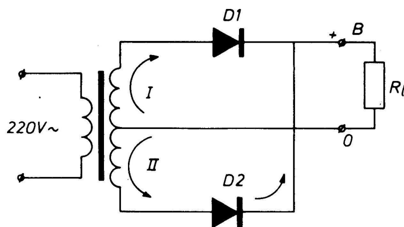
ning gebruiken. Daarom is de zgn. dubbelfasige gelijkrichting veel beter. Dat kan op twee manieren.



Afb. 2-4.

Dubbelfasige gelijkrichting met middenaftakking

In afb. 2-5 zien we deze methode afgebeeld. Hierbij heeft de secundaire van de transformator een middenaftakking. Willen we met deze schakeling weer ca. 12 V bereiken, dan moeten beide helften van de secundaire spoel 12 V afgeven. De middenaftakking is dan de 0. Gedurende de positieve fase gaat de stroom van de 0 door de bovenste helft van de secundaire en door diode D1.



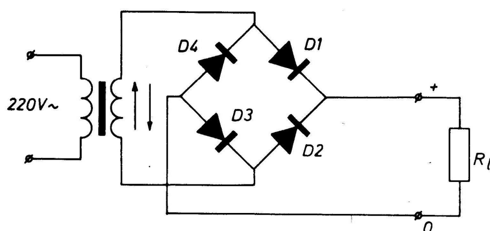
Afb. 2-5. Schakelschema voor dubbelfasige gelijkrichting met middenaftakking.

Tijdens de negatieve fase (dan is dus de onderzijde van de spoel positief) gaat de stroom door diode D2, RL (dit is de belastingsweerstand) via de middenaftakking door de onderste helft weer naar het uitgangspunt. We krijgen nu bij punt B een spanningsverloop zoals afb. 2-4c laat zien. De negatieve fase is nu als het ware omhooggeklapt. Zo'n spanningsverloop noemen we een pulserende gelijkspanning.

De spanning is dus wel steeds positief, maar daalt telkens tot 0 en dat is voor ons juist niet bruikbaar. We moeten een echte gelijkspanning hebben. Daar gaan we dus straks nog iets aan doen.
Een bezwaar van deze methode is, dat we steeds maar de helft van de secundaire spoel gebruiken. De stroom loopt beurtelings door de bovenste en de onderste helft. De trafo wordt daardoor weer groter en vanzelfsprekend ook duurder.

Dubbelfasige gelijkrichting volgens GRAETZ

Aan dat laatste bezwaar wordt tegemoetgekomen door de zgn. Graetz-schakeling (zie afb. 2-6).
De trafo heeft een enkelvoudige spoel, maar er zijn nu vier in plaats van twee dioden nodig.



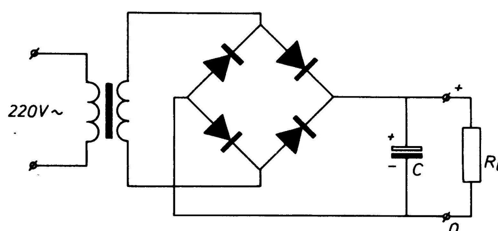
Afb. 2-6. Dubbelfasige gelijkrichter volgens Graetz.

De stroom loopt tijdens de positieve fase van de bovenzijde van de secundaire achtereenvolgens door D1, RL, D3 en weer door de secundaire. Gedurende de negatieve fase gaat de stroom door D2, RL, D4 en door de secundaire. De stroom doorloopt nu steeds in beide richtingen de gehele spoel. We hoeven voor deze schakeling niet steeds vier aparte dioden te gebruiken. Er zijn gelijkrichters in de handel, waarin deze vier dioden al keurig aan elkaar gezet zijn en daarna in plastic ingegoten. Zo'n gelijkrichter heeft vier aansluitingen, 2 voor de aansluiting van de wisselstroom gemerkt met het teken ~ en verder de + en de −aansluiting. Die −aansluiting noemen we dus steeds de 0.

Afvlakking

Zoals we al zagen, krijgen we achter de gelijkrichter een pulserende gelijkspanning en -stroom. Maar we moeten een échte gelijkspanning hebben. Dat kunnen we bereiken, door achter de gelijkrichter nog een condensator te schakelen (zie afb. 2-7). De werking is als volgt:
Tijdens de eerste fase wordt de condensator geladen. En aangezien er geen weerstand tussen de gelijkrichter en de condensator aanwezig is, zal de spanning op C precies gelijk opgaan met de aangeboden spanning.

Als de wisselspanning over zijn top heen is en weer gaat dalen, kan C zich niet ontladen, omdat de dioden nu in sperrichting staan. De spanning op C is positiever dan de spanning voor de gelijkrichter. Als we nu geen stroom van de schakeling zouden afnemen, als RL er dus niet was, zou de spanning op C precies de top-waarde van de wisselspanning blijven. Maar we nemen wél stroom af en daardoor zal de spanning op C dalen. Deze daling zal sterker zijn naarmate we meer stroom afnemen. We krijgen nu een spanningsverloop zoals in afb. 2-8 is getekend. De gestippelde lijn stelt de spanning achter de gelijkrichter voor zoals die zou zijn als C er niet was.



Afb. 2-7. Gelijkrichter met afvlakcondensator.



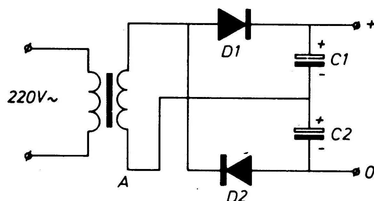
Afb. 2-8. Het spanningsverloop op de afvlakcondensator van afb. 2-7.

De getrokken lijn is de werkelijke spanning. We zien dus, dat de spanning telkens iets zakt, maar bij de volgende fase weer omhoog gaat. De spanning is nog wel wat „gerimpeld", maar lijkt toch al veel meer op een echte gelijkspanning. De rimpel zal kleiner worden als we C vergroten. Het is dus zaak om C zo groot mogelijk te kiezen. Met een flinke grote condensator bereiken we dus een gelijkspanning die vrijwel gelijk is aan de topwaarde van de wisselspanning.
Gaan we dus uit van een wisselspanning van 12 V dan krijgen we een gelijkspanning van $1{,}4 \cdot 12 = 16{,}8$ V. Maar bij grote stroomafnamen zal deze spanning weer dalen. Toch is zo'n spanning goed bruikbaar voor eenvoudige schakelingen.

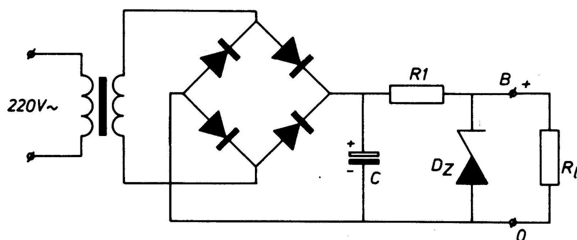
Spanningsverdubbeling

Het komt wel eens voor, dat we een bepaalde gelijkspanning willen hebben, maar niet beschikken over een trafo die de juiste spanning kan leveren. In zo'n geval kunnen we de spanning op eenvoudige wijze verdubbelen (zie afb. 2-9). Als de bovenkant van de secundaire positief is, zal D1 geleiden en wordt C1 geladen. C1 krijgt een spanning t.o.v. punt A (onderzijde secundaire) en wel zó, dat de bovenzijde van C1 positief is t.o.v. A. Tijdens de negatieve fase (bovenkant secundaire is nu negatief) komt D2 in geleiding en wordt C2 geladen. De onder-

zijde van C2 wordt nu dus negatief t.o.v. A. Het resultaat is, dat als we de bovenkant van C1 bekijken t.o.v. de onderzijde van C2 we een spanning hebben gekregen die tweemaal zo hoog is als bij gewone gelijkrichting. Zo kunnen we bijv. met een 12 V-trafo een spanning krijgen van 24 V.



Afb. 2-9. Spanningsverdubbeling.

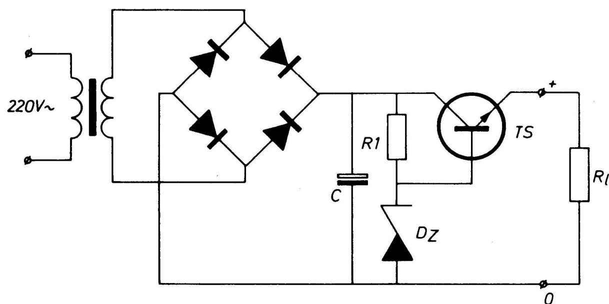


Afb. 2-10. Principe van de stabilisatieschakeling.

Spanningsstabilisatie

We hebben op de afvlakcondensator een redelijke gelijkspanning gekregen, maar gaan we stroom afnemen, dan zakt die spanning weer iets in elkaar. De spanning blijkt afhankelijk te zijn van de afgenomen stroom. Bij een geringe belasting zal dat niet veel uitmaken, maar hoe groter de belasting wordt, hoe lager de spanning. Dit is natuurlijk erg vervelend. Voeden we bijvoorbeeld twee lampen met een dergelijke gelijkrichter, dan zullen deze lampen plotseling minder fel gaan branden zodra we er een derde bij schakelen. Of een loc gaat opeens langzamer rijden als de stationsverlichting aangaat. Kortom een onduldbare toestand. Daarom gaan we de gelijkrichterschakeling nog iets uitbreiden.
We gebruiken daarvoor een zenerdiode. In afb. 2-10 zien we een gelijkrichter met een zenerdiode. Stel dat we een trafo hebben die 12 V afgeeft. Dan komt er op C een spanning te staan van ca. 1,4 · 12 = 16,8 V. Nemen we nu een 12 V-zenerdiode, dan zal er op de uitgang dus 12 V staan. Zou de ingangsspanning veranderen, bijvoorbeeld door variaties in de netspanning, dan blijft deze spanning toch steeds 12 V. (Netspanningsvariaties komen herhaaldelijk voor. We hoeven heus niet vreemd op te kijken als de netspanning eens 200 in plaats van 220 V is.)

Tegen netspanningsveranderingen hebben we ons nu gewapend, maar tegen belasting-afhankelijkheid hebben we nog niets gedaan. Integendeel. We hebben het op deze manier nog erger gemaakt. De stroom moet nu ook door de weerstand RL en hoe groter de stroom, hoe groter de spanningsval over deze weerstand zal zijn. Die spanningsval wordt afgetrokken van de spanning op C. Bij geringe stroomafname zal het wel goed gaan, want het verschil is 16,8 − 12 = 4,8 V. Zodra we echter een behoorlijke stroom willen afnemen, is het mis. Daarom moeten we nóg iets aan de schakeling toevoegen, nl. een versterker. Als we er maar voor zorgen dat de stroom die we van punt B afnemen, klein is, blijft die spanning mooi constant. Daarom nemen we maar een heel klein stroompje af en gaan dat versterken tot de gewenste waarde. Hoe dit in zijn werk gaat, zien we in afb. 2-11. De zenerspanning sluiten we aan op de basis van een transistor en de collector van die tor komt aan de gewone gelijkspanning.



Afb. 2-11. Stabilisatieschakeling met transistor.

De transistor is nu geschakeld als *emittervolger.* Een eigenschap van een emittervolger is, dat de spanning die we op de basis aanbieden ook op de emitter verschijnt. In ons geval zetten we dus 12 V op de basis. De collector heeft 16,8 V. De transistor zal nu zover open gaan, dat de spanning op zijn emitter toch 12 V wordt. (In de praktijk zal dit enkele tienden volts lager zijn!) De transistor „knijpt" dus 4,8 V van de spanning af. Is de weerstand van RL nu bijv. 10 Ω, dan is de stroom door de transistor 12 : 10 = 1,2 A.
Bij de stroomversterkingsfactor van 100, wordt de basisstroom

$$1,2 : 100 = 0,012 \text{ A} = 12 \text{ mA}.$$

We belasten de zenerdiode dus maar heel weinig en hebben toch een flinke stroom. Dit is natuurlijk een geïdealiseerd geval. In de praktijk zal blijken, dat de spanning toch niet zo precies gelijk blijft bij zo'n stroomafname. Maar het gaat hier alleen maar om een goed begrip van het principe.
We moeten in zo'n geval natuurlijk wél de transistor goed in de gaten houden. Het afgeknepen deel van de spanning wordt namelijk door de transistor omge-

zet in warmte waardoor deze nogal heet wordt. Het vermogen dat de tor dissipeert is:

$$4{,}8 \cdot 1{,}2 = 5{,}76 \text{ W}$$

We moeten hiervoor dus wel een vermogenstransistor gebruiken en dan bovendien voor een goede koeling zorgen.
Nu zijn we dan eindelijk waar we wezen wilden. We hebben een goede gelijkspanning die nauwelijks afhankelijk is van de belasting.

2.2. De praktijk

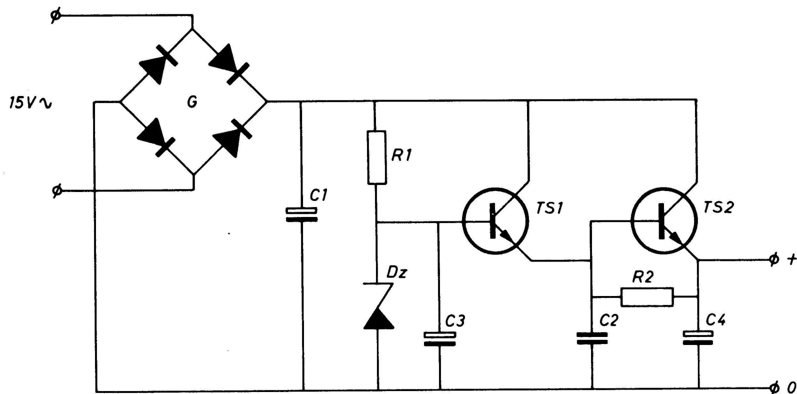
Wanneer iemand met de bouw van een spoorbaan gaat beginnen, zal hij in eerste instantie vrijwel altijd een voedingsapparaat aanschaffen, dat bij het merk baan hoort dat hij gekozen heeft. Maar zodra hij dan wat verder gevorderd is, blijkt al gauw, dat deze trafo alleen niet voldoende is. Zo'n fabrieksvoeding heeft altijd een regelaar voor de locs plus een 14 V-wisselspanningsuitgang voor de wissels, seinen en andere attributen. Over de regelaars voor de locs praten we nu nog niet, dat komt in hoofdstuk 3 aan de orde.
Maar voor de diverse elektronische schakelingen hebben we een goede gelijkspanning nodig en die wordt niet geleverd door de eerder genoemde fabriekstrafo. De wissels, seinen, enz. die eigenlijk voor 14 V wisselstroom bedoeld zijn, werken ook prima op gelijkstroom, misschien zelfs wel beter.
Zeker als we die wissels automatisch willen schakelen, moeten we wel op gelijkstroom overgaan. We laten die 14 V wisselspanning dan maar schieten. Daar komt nog bij, dat de spanning die de regelaar afgeeft, vrijwel nooit voldoende afgevlakt en gestabiliseerd is. Mochten er dan nog dingen zijn, die per sé met wisselstroom gevoed moeten worden, dan kunnen we altijd nog een relais te hulp roepen.

De doorsnee-modelbaan „lust" over het algemeen nogal wat stroom. We kunnen nu 2 dingen doen: óf we bouwen één heel zware voeding van zo'n 10 A of meer, óf we bouwen er een paar van hooguit 2 A. Dit laatste is misschien niet de goedkoopste oplossing, maar het werkt het prettigst.
Als we maar één zware voeding hebben en er gebeurt iets, kortsluiting of zo, dan ligt direct ons hele spoorwegbedrijf plat. Bovendien levert de bouw van zo'n zware voeding meer moeilijkheden op. Maar we hoeven niet een hele reeks transformatoren aan te schaffen. We gaan uit van één zware en vooral *veilige* trafo. Laten we zeggen minstens 10 A. Daar kunnen we dan een flinke modelbaan op laten draaien. Die 10 A-trafo's zijn in de handel. Secundair geven ze dan diverse spanningen, nl. 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16 en 18 V.
Zo'n trafo is wel even een flinke aanval op onze beurs, maar we zijn dan, wat dat betreft, ook verder klaar. Op die trafo sluiten we de diverse gelijkrichters aan. Voor veel schakelingen kunnen we volstaan met een eenvoudige voeding. Maar

sommige schakelingen vergen een heel goede en vooral stabiele gelijkspanning. Daarom volgen nu een drietal voedingsschakelingen met hun resp. voedingen.

Eenvoudige voeding voor 12 V

In afb. 2-12 zien we het schema van deze eenvoudige voeding. Deze schakeling lijkt veel op het principeschema van afb. 2-11. Het meest in het oog springende verschil is, dat er nu twee in plaats van één transistor gebruikt is. Deze twee transistoren zijn, om de zenerdiode nog minder te belasten, in *cascade* geschakeld. Beide transistoren zijn als emittervolger geschakeld. De zenerspanning verschijnt dus op de emitter van TS1. De zware eindtransistor TS2 betrekt zijn basisstroom van de emitter van TS1, zodoende wordt de zenerdiode nog minder belast. Omdat we twee transistoren gebruiken, wordt de uitgangsspanning lager dan de zenerspanning. Tussen de zenerdiode en de uitgang bevinden zich twee basis-emitterovergangen. De uitgangsspanning wordt dus 2 · 0,6 = 1,2 V lager dan de zenerspanning. Dat is dan ook de reden, dat we in deze schakeling een zenerdiode van 13 V gebruiken. De uitgang wordt dan theoretisch 11,8 V.
De zenerspanning is echter nooit zo erg precies, dus we moeten maar afwachten wat de spanning wordt. Deze kan best bijvoorbeeld 12,5 V worden. Maar dat geeft niet, zó kritisch zijn de schakelingen meestal niet.

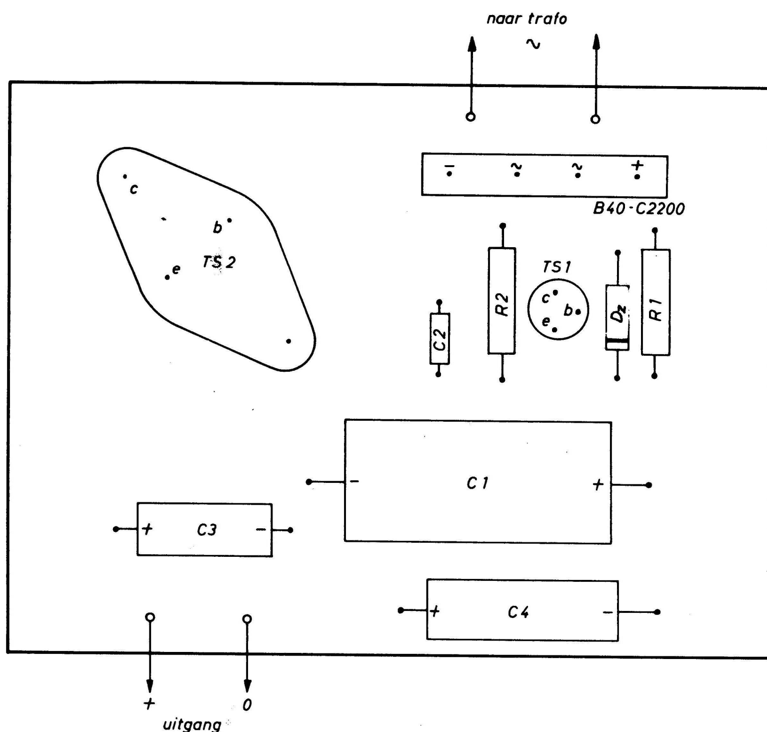


Afb. 2-12. Eenvoudige gestabiliseerde voeding.

ONDERDELENLIJST

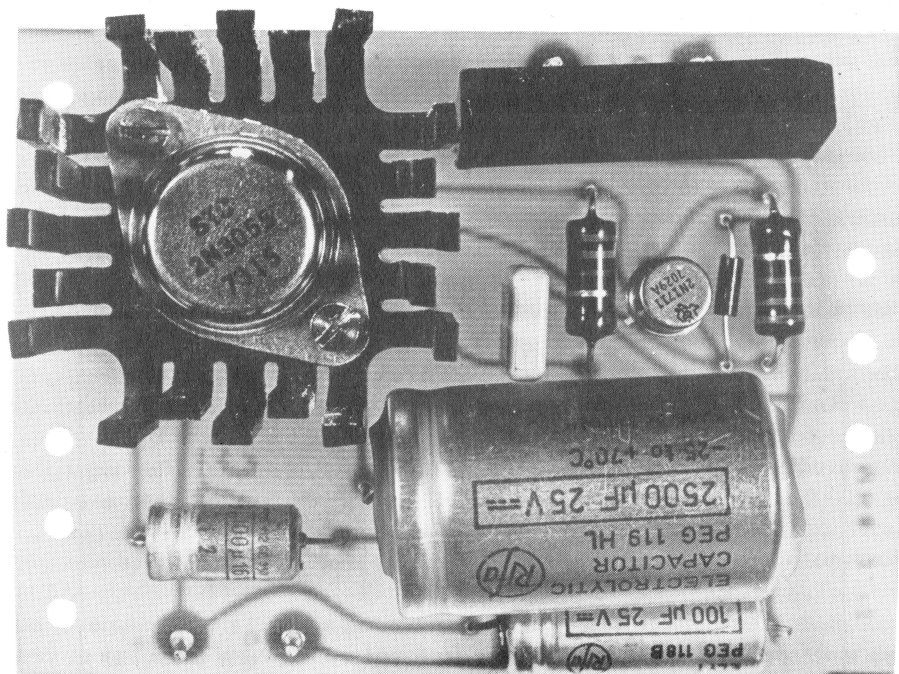
G	B40C2200	R1	3300 Ω
C1	2500 μF	R2	33 Ω
C2	0,1 μF	TS1	2N1711
C3	100 μF	TS2	2N3055
C4	100 μF	Dz	zenerdiode 14 V

R2 en C3 zijn aangebracht, om de schakeling ook bij lage uitgangsstromen stabiel te houden. C3 vlakt de rimpel die eventueel op de zenerspanning is overgebleven nog eens extra af. C1 moet erg groot zijn (bij een stroomafname van 1 A minstens 2500 μF!). In afb. 2-13 is het printontwerp voor deze voeding gegeven. Meer gegevens over het maken van prints vinden we in hoofdstuk 9. Op de onderdelenzijde van de print is rekening gehouden met één condensator van 2500 μF.



Afb. 2-13. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 2-12 (zie ook blz. 168).

Willen we de schakeling geschikt maken voor een stroomafname van 2 A, dan hebben we een totale capaciteit nodig van 5000 μF. De tweede condensator van 2500 μF zetten we dan aan de onderzijde van de print parallel met de eerste. TS2 kan nogal heet worden en wordt daarom op een zgn. vingerkoelelement gemonteerd (zie afb. 2-14). In deze uitvoering kan de schakeling 1 A leveren. Bij de 2 A-uitvoering moet TS2 nog beter worden gekoeld. Dan monteren we deze tor niet meer op het printje, maar op een aparte koelplaat van minstens 10 × 10 × 0,2 cm aluminium. Er zijn ook kant-en-klare koelelementen in de handel waarin de bevestigingsgaten voor een TO-3-transistor al zijn aangebracht.



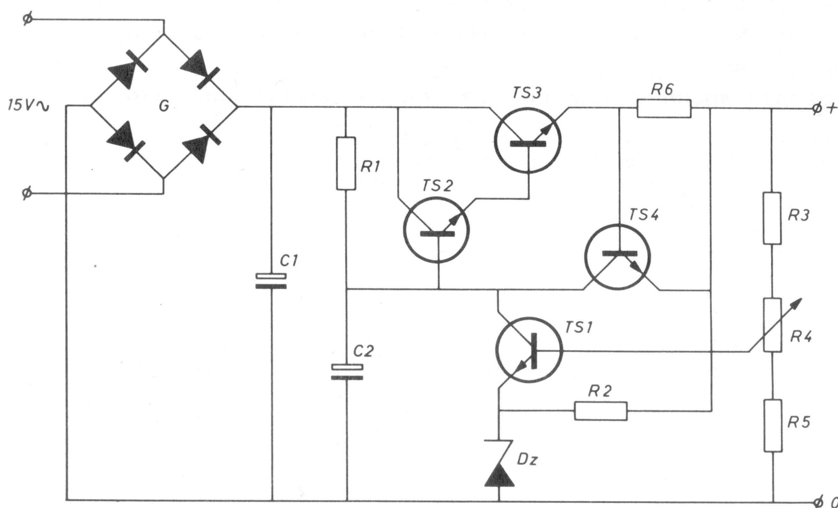
Afb. 2-14. Eenvoudige voeding volgens printontwerp 2.13. De zware eindtransistor is gemonteerd op een vingerkoelelement.

We moeten er wél goed op bedacht zijn, dat het metalen huis van de transistor inwendig verbonden is met de collector. Schroeven we de tor zomaar op de koelplaat, dan komt op die plaat de totale ongestabiliseerde spanning te staan. Dat kan gevaar voor kortsluiting opleveren. Om dit te voorkomen, kunnen we bij de transistor een isolatiesetje aanschaffen. Zo'n set bestaat uit een micaplaatje en een tweetal isolatiebusjes. Mica is voor elektriciteit een isolator, maar geleidt de warmte wel. De in de transistor ontwikkelde warmte kan dus gemakkelijk de koelplaat bereiken. Deze voorzorg kan ons veel narigheid besparen. Voor de meeste schakelingen in dit boek zal dit soort voeding goed genoeg zijn. Maar voor een enkele heel speciale schakeling hebben we toch een nog beter gestabiliseerde voeding nodig.

Gestabiliseerde voeding voor 9 – 14 V

Een betere stabilisatie geeft de schakeling van afb. 2-14 waarin een zgn. terugkoppeling is aangebracht. TS2 en TS3 zijn weer in cascade geschakeld. De zenerspanning is nu echter niet rechtstreeks op de basis van TS2 aangesloten maar er is een transistor tussengeschakeld. TS1 fungeert hier als ,,vergelijker".

Op de uitgangsklemmen is een spanningsdeler aangebracht, bestaande uit de weerstanden R3 en R5 en de instelpotmeter R4. Een deel van de uitgangsspanning staat zodoende op de basis van TS1. TS1 vergelijkt deze spanning met de zenerspanning die op zijn emitter is aangesloten. Het verschil tussen deze twee spanningen bepaalt hoever TS1 open zal gaan, dus hoeveel stroom erdoor gaat. Als de uitgangsspanning om de een of andere reden stijgt, wordt ook de spanning op de basis van TS1 hoger met het gevolg dat TS1 verder opengaat. Er gaat meer stroom vloeien door de keten: R1, TS1 en de zenerdiode. Door deze grotere stroom wordt de spanningsval over R1 groter. De basis van TS2 wordt minder positief. Deze transistor gaat iets verder dicht, omdat hij minder basisstroom kan trekken. Daardoor gaat ook de spanning op zijn emitter omlaag. Ook TS3 zal dus verder dicht gaan. Zodoende wordt de uitgangsspanning lager. Dit gaat door tot het verschil tussen de spanningen op de basis en de emitter van TS1 weer bijna 0 is.
Daalt de uitgangsspanning, bijvoorbeeld door een grotere stroomafname, dan gebeurt precies het omgekeerde. De basisspanning van TS1 daalt, de stroom



Afb. 2-15. Gestabiliseerde voeding. Instelbaar van 9-14 V.

ONDERDELENLIJST

G	B40C2200	R5	10 kΩ/½ W
C1	2500 μF/25 V	R6	zie tekst
C2	50 μF/25 V	TS1	BC 107b.
R1	1 kΩ/1 W	TS2	2N1711, 2N2219
R2	1500 Ω/½ W	TS3	2N3055
R3	1 kΩ/½ W	TS4	BC 107
R4	5 kΩ (instelpotmeter)	Dz	8 V/½ W

door TS1 daalt, de spanningsval over R1 vermindert, waardoor TS2 meer stroom kan trekken. TS3 gaat verder open en de uitgangsspanning wordt weer op peil gebracht. Dit is dus een nog veel betere stabilisatie. Al de veranderingen die om de een of andere reden aan de uitgang zouden willen optreden, worden door het meer of minder in geleiding komen van TS1 weer teniet gedaan.
Een plezierige bijkomstigheid is, dat we nu niet zo gebonden zijn aan een bepaalde waarde voor de zenerdiode. De uitgangsspanning is namelijk met instelpotmeter R4 iets te veranderen. Om de uitgangsspanning uit te rekenen, kunnen we gebruik maken van de volgende formule:

$$V_u = \frac{(V_z + 0{,}6) \cdot (R_3 + R_4 + R_5)}{R_{4B} + R_5}$$

Hierin is:
V_u de uitgangsspanning;
V_z de zenerspanning.

Met $R4_B$ bedoelen we het onderste gedeelte van R4. Staat de loper dus helemaal bovenaan, dan is $R4_B$ de hele potmeter. Staat hij in het midden, dan is $R4_B$ de helft, enz. Nu kunnen we het gebied waarin de uitgangsspanning te variëren is, uitrekenen.
De hoogste spanning is bereikt, als de loper helemaal onderaan staat. $R4_B$ is dan 0.

$$V_u = \frac{(8+0{,}6) \cdot (1+5+10)}{10} = 8{,}6 \cdot 16/10 = 13{,}76 \text{ V}$$

De laagste spanning is:

$$V_u = \frac{(8+0{,}6) \cdot (1+5+10)}{15} = 9{,}1 \text{ V}$$

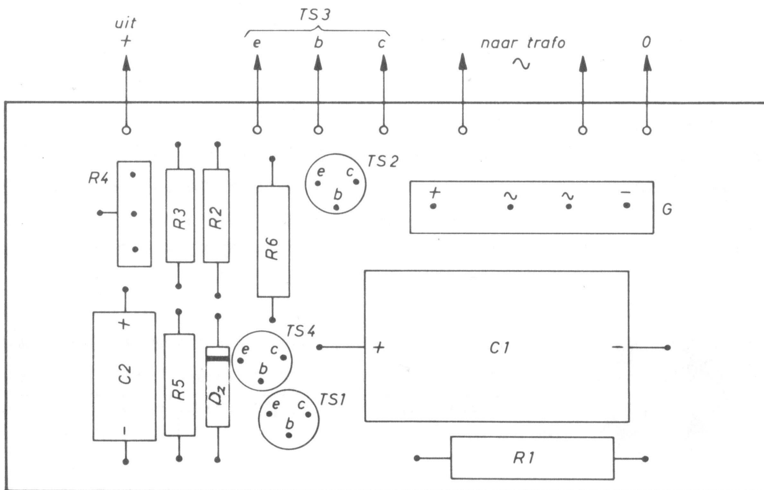
Zo kunnen we dus met R4 de gewenste spanning precies instellen. Voor deze schakeling moet de ingangsspanning minstens 14 V ~ zijn. Ook nu moet TS3 goed gekoeld worden. Bij deze voeding zetten we TS3 maar niet meer op het printje. De warmte-ontwikkeling kan namelijk nogal groot worden. Het printontwerp is weergegeven in afb. 2-16. Met de aangegeven componenten kan de voeding een stroom leveren van ca. 1,3 A.

We hebben het tot nu toe nog niet gehad over TS4 en R6. Deze twee componenten hebben met de eigenlijke stabilisatie dan ook niets te maken. We zouden ze wat dat betreft gerust weg kunnen laten. Toch vervullen ze een heel belangrijke functie. Ze zorgen er namelijk voor, dat de voeding niet stuk gaat als we de uitgang kortsluiten. Bij kortsluiting wordt de stroom door TS3 heel groot, met alle kans, dat hij sneuvelt.
De werking van deze twee onderdelen is als volgt:

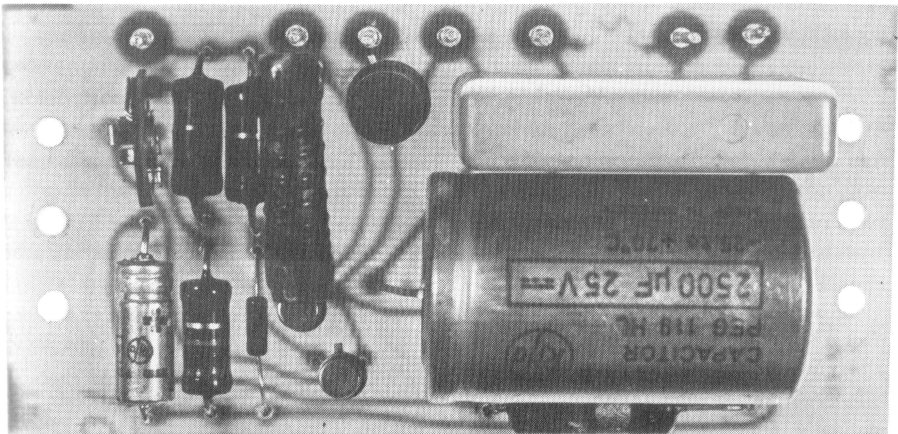
R6 heeft een weerstand van 0,47 Ω. Zolang de stroom door die weerstand beneden de 1,3 A blijft, zal de spanningsval kleiner zijn dan:

$$1{,}3 \cdot 0{,}47 = 0{,}6\ \text{V}$$

De spanning tussen de basis en emitter van TS4 is dus nog te klein om hem in geleiding te brengen. Wordt de uitgangsstroom echter groter dan 1,3 A dan gaat TS4 geleiden. Daardoor wordt de sturing van TS2 minder. De uitgangs-



Afb. 2-16. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 2-15 (zie ook blz. 168).

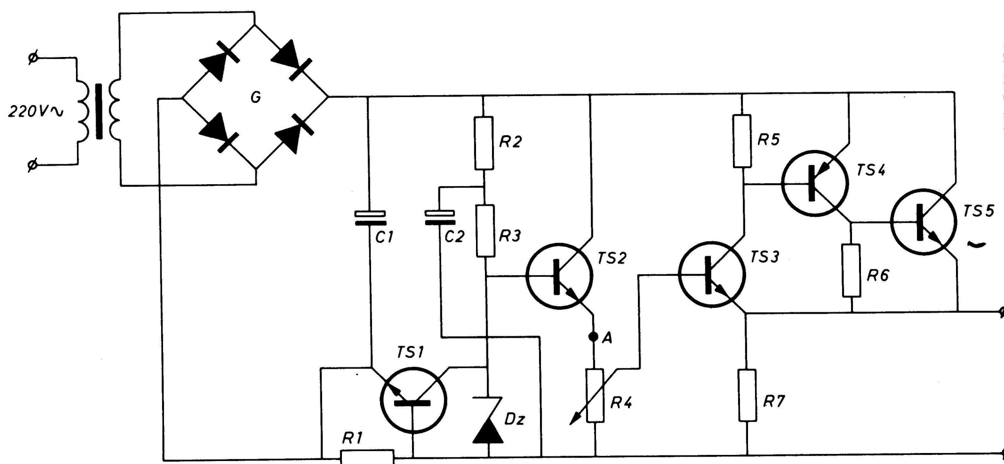


Afb. 2-17. Gestabiliseerde voeding volgens printontwerp 2.16.

spanning zal dus dalen. Het resultaat is dat de combinatie van R6 en TS4 niet toelaat, dat de stroom groter wordt dan 1,3 A.
Bij volledige kortsluiting, zal de uitgangspanning dan ook dalen tot vrijwel 0 V. Uiteraard wordt TS3 daarbij dan gloeiend heet zodat het niet aanbevelenswaardig is deze toestand lang te laten bestaan. Dit soort beveiliging noemt men stroombegrenzing. In hoofdstuk 6 gaan we daar wat dieper op in.

Regelbare gestabiliseerde voeding 0-14 V

Met de twee voorgaande voedingen kunnen we alle in dit boek voorkomende schakelingen van een gepaste voedingsspanning voorzien. Meestal zal die spanning 12 V moeten zijn.
Toch is het gemakkelijk een voeding bij de hand te hebben, waarvan de spanning regelbaar is. Zeker voor die mensen die graag zelf wat willen experimenteren. Daarom volgt hier het schema van een regelbare gestabiliseerde voeding (zie afb. 2-18).
Deze schakeling is wel wat gecompliceerder dan de voorafgaande en is niet be-



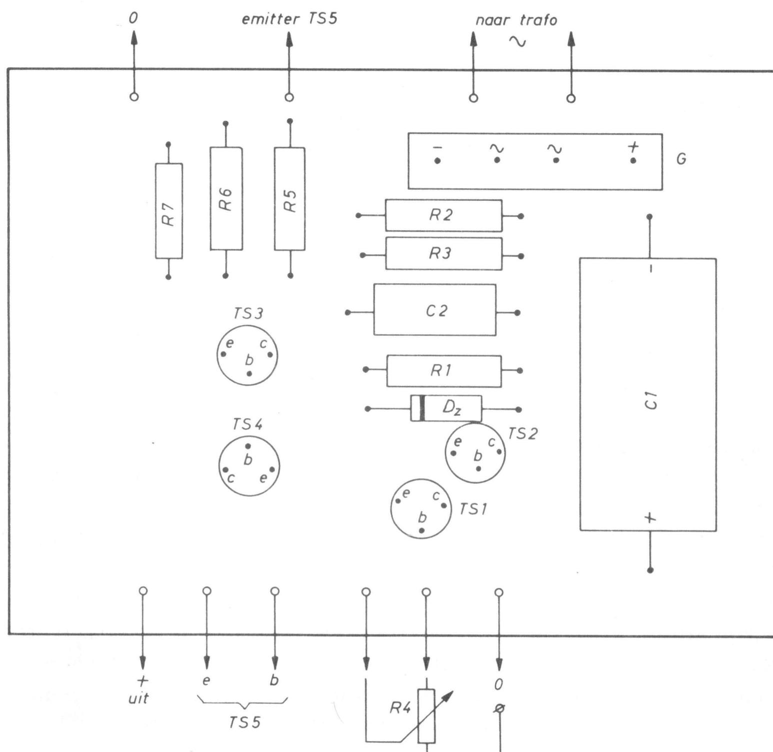
Afb. 2-18.

ONDERDELENLIJST

G	B40C2200	R6	100 Ω/½ W
C1	2500 μF/25 V	R7	10 kΩ/½ W
C2	50 μF/25 V	TS1	2N2905
R1	0,33 Ω/5 W	TS2	BC 107
R2	5600 Ω/½ W	TS3	BC 107
R3	10 kΩ/½ W	TS4	2N2905
R4	10 kΩ (potmeter, lineair)	TS5	2N3055 (powertransistor, op koelplaat)
R5	1500 Ω/½ W		

doeld om vast op de modelbaan gemonteerd te worden. We kunnen hem beter in een apart kastje onderbrengen. Vandaar dat we de voeding ook niet kunnen aansluiten op de centrale zware transformator, maar er een eigen trafo bij in moeten bouwen. We kunnen dit apparaat dan overal mee naar toe nemen en ook voor andere doeleinden gebruiken. We hebben hiervoor nodig een trafo die een spanning van 14 V afgeeft bij een stroom van 2 à 2,5 A.
Er zijn een aantal principiële verschillen met de voorgaande voedingsschakelingen. Het meest opvallende verschil is wel de regeling van de uitgangspanning. Bij de vorige ontwerpen, werd de zenerspanning op de basis van de vergelijker aangesloten. De uitgangsspanning werd dan ingesteld door een bepaald deel van deze uitgangsspanning op de emitter te zetten. Nu draaien we de zaak om. De totale uitgangsspanning staat op de emitter van de vergelijkingstransistor TS3.
De uitgang wordt nu geregeld door een deel van de zenerspanning aan de basis te leggen. Dit mag echter niet rechtstreeks. Om de zenerdiode zo min mogelijk te belasten, is er een emittervolger (TS2) tussen geschakeld.
De spanning op punt A (emitter van TS2) is dus de zenerspanning min de basis-emitterspanning van TS2. In ons geval is dat dus 15 − 0,6 = 14,4 V.
Door middel van potmeter R4 kunnen we nu een deel van deze spanning op de vergelijker zetten. Staat de loper van R4 bovenaan, dan is de spanning op de basis van TS3 14,4 V. De uitgangsspanning zal dan maximaal zijn. Staat de loper onderaan, dan is de spanning op de basis 0 en zo ook de uitgangsspanning.
De uitgangsversterker wordt gevormd door TS4 en TS5.
Ook hier is een verandering. Het zijn in dit geval geen twee in cascade geschakelde npn-transistoren, maar een pnp- en een npn-transistor. Zo'n combinatie noemen we een *complementair paar.*
Het verschil tussen de uitgangsspanning en het ingestelde deel van de zenerspanning staat op de basis van TS4. Deze spanning is dus minder positief dan de spanning op C1. De basis van TS4 is dus negatief t.o.v. zijn emitter. TS4 zal zodoende meer of minder in geleiding zijn en stuurt op zijn beurt de zware vermogenstransistor TS5.
Bij deze voeding moeten we wel veel zorg besteden aan de koeling van de eindtransistoren TS4 en TS5. Op TS4 schuiven we een koelster. Zo'n ster is een verende metalen ring die strak om het metalen huis van TS4 geschoven kan worden. TS4 heeft een zgn. TO-5-omhulsel. We moeten dus een ster hebben voor een dergelijke transistor. TS5 moet op een forse koelplaat worden gemonteerd. Vooral bij een lage uitgangsspanning en een hoge stroom wordt de dissipatie van deze transistor erg groot.
Even een voorbeeld:
Bij een secundaire trafospanning van 14 V wordt de spanning op C1:

$$14 \cdot 1{,}4 = 19{,}6\ \text{V}$$



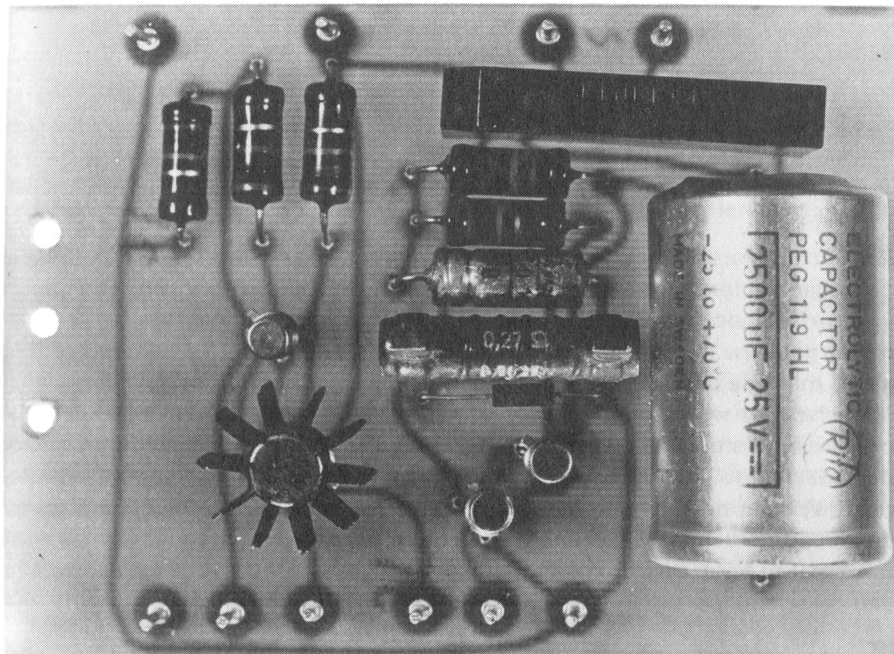
Afb. 2-19. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 2-18 (zie ook blz. 169).

Stellen we de uitgangsspanning nu in op 2 V en nemen we een stroom af van 1,5 A dan wordt de dissipatie:

$$(19{,}6 - 2) \cdot 1{,}5 = 26{,}4 \text{ W}$$

En dat is nogal wat.
Om die reden kunnen we deze voeding maar beter niet gebruiken voor voedingsspanning beneden de 5 V. Op de spoorbaan zal een lagere spanning praktisch nooit voorkomen.
Ook deze voeding heeft weer een stroombegrenzing. Wordt de spanningsval over R1 groter dan de basis-emitterspanning van TS1 dan komt deze transistor in geleiding en trekt daardoor de zenerspanning omlaag. De uitgangsspanning zal nu ook dalen en wel zover tot er een evenwichtstoestand is ingetreden.
De maximale uitgangsstroom wordt met de aangegeven componenten begrensd op $0{,}6 \cdot 0{,}33 \approx 2$A
Het zal duidelijk zijn, dat bij een volledige kortsluiting de eindtransistor TS5 heel wat voor zijn kiezen krijgt. De uitgangsspanning daalt daarbij namelijk tot vrijwel 0 V. De dissipatie wordt dan: $19{,}6 \cdot 1{,}8 = 35{,}28$ W!

Zo'n volledige kortsluiting mag dan ook niet al te lang blijven bestaan. Ook van deze voeding is weer een printontwerp gegeven (zie afb. 2-20).



Afb. 2-20. Regelbare gestabiliseerde voeding. Printontwerp 2.19. Transistor TS4 is voorzien van een opschuifkoelster TO-5.

3. Het regelen van de snelheid

3.1. Schaalsnelheid

Een rechtgeaarde modelbouwer zal alles op zijn baan zoveel mogelijk precies op schaal willen hebben. De huisjes, bomen, de stations, enz. De fabrikanten van modelspoortreinen doen ook hun best de locomotieven en wagons zo natuurgetrouw mogelijk en op de juiste schaal te maken. Dit lukt helaas niet altijd, maar de afwijkingen zijn meestal zó gering, dat het niet opvalt.
Maar iets dat wel degelijk opvalt, is de enorme snelheid waarmee de treinen over de baan stuiven. De snelheid is bijna altijd veel te groot. We moeten daarom de schaalverhouding ook toepassen op de snelheid. De treinen rijden meestal op 12 V, maar de snelheid zal bij dat voltage heel vaak te hoog zijn. Een exprestrein mag gerust een flinke snelheid hebben, maar een rangeerloc kan nu eenmaal niet zo hard. Daarom gaan we de snelheid van de locomotieven aanpassen aan de schaal. De tegenwoordig meest toegepaste schalen zijn:

Schaal	Spoorbreedte	Verhouding
I	45 mm	1 : 32
O	32 mm	1 : 45
HO	16,5 mm	1 : 87
N	9 mm	1 : 160

Willen we nu weten, hoe snel een bepaalde locomotief op onze baan mag rijden, dan proberen we er eerst achter te komen, wat de maximale snelheid van het grote voorbeeld is. Hieruit is de snelheid van het model dan gemakkelijk te berekenen.
Een locomotief die in het grootbedrijf bijvoorbeeld maximaal 140 km/uur rijdt, mag op een HO-baan niet harder rijden dan 140/87 – 1,6 km/uur. Nu is die maat km/uur voor onze modelbaan niet zo erg geschikt. We drukken de snelheid uit in meters per minuut (m/min). Ons voorbeeld wordt dan 1600 : 60 = 26,6 m/min.
Op deze wijze kunnen we dus voor elke loc de maximale snelheid uitrekenen. Voor het gemak volgt hieronder een lijstje met omrekeningsfactoren. We vermenigvuldigen de snelheid van het grote voorbeeld dus met de omrekeningsfactor en vinden dan direct de snelheid voor de baan in m/min.

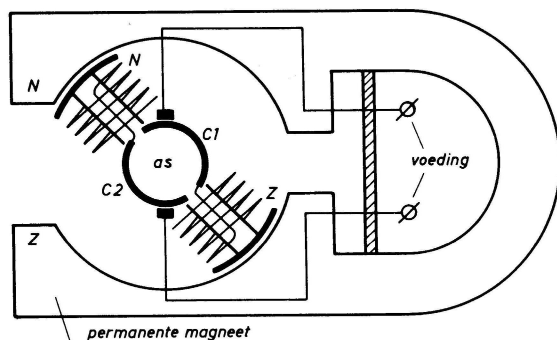
Schaal	Omrekeningsfactor
I	0,52
O	0,37
HO	0,19
N	0,10

We zullen op onze baan natuurlijk naar een compromis moeten zoeken, omdat de ene loc nu eenmaal veel harder zal kunnen rijden dan de andere. Maar zodoende zullen we dan in de toekomst zoveel mogelijk natuurgetrouw kunnen rijden.

3.2. De locomotiefmotor

Principe van de permanente-magneetmotor

Het hart van onze modelspoorlocomotief is natuurlijk de motor. In vrijwel alle gevallen zal dat een permanente-magneetmotor zijn. Een heel eenvoudige principeschets van een dergelijke motor zien we in afb. 3-1. Terwille van de eenvoud zijn in deze schets de lagers waarin de motoras draait en het omhulsel weggelaten.



Afb. 3-1. Principe van de permanente-magneetmotor.

De motor bestaat uit een permanente magneet. Tussen de twee polen van deze magneet bevindt zich een staafje ijzer waarop een draadwikkeling is aangebracht, het zgn. *anker.* Dit anker is draaibaar om de as A. Op deze as is een busje van een of ander isolatiemateriaal vastgezet en op dit busje bevinden zich twee van elkaar geïsoleerde segmenten van koper C1 en C2. Het busje met die koperstrips noemen we de *collector.* De twee uiteinden van de draadwikkeling zijn verbonden met die twee kopersegmenten van de collector.

De stroomtoevoer naar de ankerwikkeling vindt plaats via twee verend op de collector drukkende koolborstels. Zetten we nu een spanning op die koolborstels dan gaat er een stroom door de ankerwikkeling vloeien. Daardoor wordt er in het ijzer van het anker ook een magnetisch veld opgewekt.
De stroom loopt van de + door de bovenste koolborstel, via C1, de wikkeling, C2 en de onderste koolborstel terug naar de 0. Dit heeft tot gevolg, dat het bovenste deel van het ijzeren staafje een noordpool en de onderkant een zuidpool wordt. Nu liggen er dus gelijknamige polen tegenover elkaar en die zullen elkaar dus afstoten. Doordat het anker kan draaien, zal het in beweging komen. Laten we aannemen dat het linksom draait. De noordpool van het anker komt dus steeds dichter bij de zuidpool van de permanente magneet. Deze polen trekken elkaar aan.

Zou er verder niets gebeuren, dan zou het anker direct weer stilstaan. Nu komt de collector op de proppen. Deze collector is namelijk met het anker meegedraaid en net op het juiste moment raakt de bovenste koolborstel niet meer C1, maar C2. De stroom loopt nu van + via C2, de wikkeling, C1 en de onderste koolborstel weer naar 0. De stroomrichting is dus precies omgekeerd. Dit heeft weer tot gevolg, dat ook de polen van het staafje omwisselen. Wat eerst de noordpool was, is nu zuidpool en de zuidpool is noordpool geworden. Er staan dus weer gelijknamige polen tegenover elkaar. Door de afstoting draait het anker door. Na een halve slag keert de stroom weer om en zo gaat het steeds door. Het anker zal dus keurig in het rond gaan draaien.
In de praktijk wordt het anker echter veel ingewikkelder uitgevoerd. Doordat er in ons voorbeeld maar twee polen zijn, zijn er twee „dode" standen. Staat het anker namelijk precies verticaal, dan zal het niet zo gemakkelijk uit zichzelf in beweging komen als de spanning wordt aangesloten. Daarom wordt het anker meestal met 3, 5 of zelfs nog meer paar polen uitgevoerd. De collector krijgt dan idem zoveel meer segmenten. Hoe meer polen een motor heeft, hoe soepeler hij zal draaien. Maar principieel verandert er niets. Het zal nu ook duidelijk zijn, dat we de draairichting van het anker eenvoudig kunnen omkeren door de spanning op de koolborstels om te polen.

De snelheid van een dergelijke motor is veel te groot voor een modellocomotief. Daarom wordt de as gekoppeld met een aantal vertragingstandwielen, die dan op hun beurt weer een of meer assen van de loc aandrijven.
De koolborstels slijten door het schuren langs de collector geleidelijk af, zodat deze na verloop van tijd moeten worden vervangen.
Het verdient aanbeveling een locmotor niet al te overvloedig te smeren. Het gevaar bestaat dan namelijk dat de collector te vet wordt. Het slijpsel van de koolborstels en stof verhinderen op den duur een goede stroomdoorgang. De locmotor gaat daardoor onregelmatig lopen. Alleen die plaatsen smeren die door de fabrikant worden aangegeven en heel zuinig zijn met olie.

Elektrische eigenschappen

De sterkte van de magnetische ankerpolen wordt bepaald door de stroom door de wikkeling. Hoe sterker die polen zijn, hoe sneller het anker zal draaien en hoe meer kracht de motor zal hebben. Een motor is in principe ook als dynamo te gebruiken. Brengen we het anker van buitenaf in beweging, dan kunnen we van de koolborstels stroom afnemen. Een goed voorbeeld hiervan is de fietsdynamo. Dat zijn ook meestal permanente-magneettypes. Het anker wordt aangedreven door het fietswiel en zo wekt de dynamo de stroom voor de verlichting op. Maar zetten we er nu een spanning op van zo'n 8 V dan kunnen we die dynamo ook als motor gebruiken.

Het principe dat hieraan ten grondslag ligt is, dat wanneer we een draadwikkeling bewegen in een magnetisch veld er in die wikkeling een elektrische stroom wordt opgewekt. Datzelfde gebeurt ook bij onze treinmotoren.
De weerstand van de ankerwikkeling is vrij laag. Zodra het anker gaat draaien, wordt er in de wikkeling een stroom opgewekt. Maar de spanning is tegengesteld aan de spanning die de motor laat draaien. Vandaar dat we die spanning ook tegen-e.m.k. (tegen-elektromotorische kracht) noemen.
De weerstand van het anker neemt door deze e.m.k. schijnbaar toe. We zullen dit verschijnsel waarschijnlijk allemaal al wel eens meegemaakt hebben. Als we een locomotief tegenhouden, dus in feite het anker stilzetten, wordt de motor na enige tijd gloeiend heet en kan zelfs doorbranden. De stroom door de ankerwikkeling is dan veel te groot, omdat de tegen-e.m.k. ontbreekt. Dit is een vervelende eigenschap van de motor, waarmee we bij het ontwerpen van snelheidsregelingen terdege rekening moeten houden.

3.3. Diverse methodes van snelheidsregeling

De eisen

In principe komt de snelheidsregeling van een motor dus neer op het regelen van de ankerstroom. Er zijn een heleboel manieren om dat te verwezenlijken. Maar vóór we op de eigenlijke schakelingen ingaan, vragen we ons af: Aan welke eisen moet onze snelheidsregelaar voldoen?
Het is nu eenmaal een feit dat de één veel vlugger tevreden is dan de ander. Toch is het raadzaam met name aan de snelheidsregelaar veel zorg te besteden. Het gaat een modelbouwer al heel gauw mateloos irriteren dat de treinen van zijn met veel moeite verwezenlijkte modelbaan een onecht rijgedrag vertonen. Daarom stellen we de volgende eisen:

1. De loc moet soepel en zonder schokjes continu regelbaar zijn.
2. De loc moet vanuit stilstand heel geleidelijk op gang kunnen komen en niet met een ruk „wegschieten".

3. De loc moet een goed gelijkmatige uitloop hebben (remweg) en niet pardoes blijven staan zodat de koppelingen losschieten.
4. De trein moet als het ware over de baan kunnen kruipen en dan toch genoeg kracht hebben om zijn normale aantal wagons te trekken.

Het zal natuurlijk niet meevallen, om aan al deze eisen tegemoet te komen. Niet iedereen zal dat ook nodig vinden. Daarom volgen hieronder diverse methodes van snelheidsregeling, zodat iedereen die regeling kan kiezen die hem het beste lijkt voor zijn baan.

De indeling

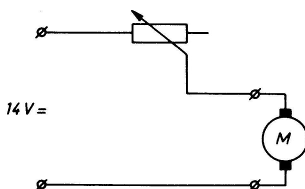
Voor het gemak delen we de snelheidsregelaars in vier groepen in, nl.:

1. Conventionele regelaars. par. 3.4
2. Regelaars met „elektronisch vliegwiel". par. 3.5
3. Snelheidsregeling d.m.v. fase-aansnijding. par. 3.7
4. Snelheidsregeling d.m.v. impulsbreedtemodulatie par. 3.8

3.4. Conventionele regelaars

Regelaar met variabele weerstand

Dit is wel de meest eenvoudige regelaar. Vandaar misschien dat de meeste regelaars die in de handel zijn op dit principe berusten.
De regelaar bestaat uit een trafo, een gelijkrichter, een variabele weerstand en een ompoolschakelaar (zie afb. 3-2). De variabele weerstand staat in serie met de motor. Zodoende kunnen we daarmee de ankerstroom en dus ook de snelheid regelen. Een dergelijke regelaar voldoet alleen maar enigszins aan de eisen gesteld in punt 1 (blz. 61).



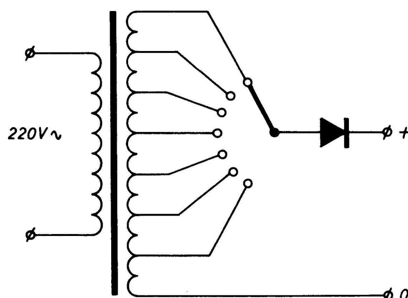
Afb. 3-2. Snelheidsregeling d.m.v. regelweerstand.

Is de trein eenmaal op gang, dan is de snelheidsregeling verder redelijk gelijkmatig. Maar het optrekken lijkt werkelijk nergens op. Bovendien is deze methode erg oneconomisch. De trafo met gelijkrichter geeft een vaste spanning van zo'n 14 à 16 V. Bij lage snelheden wordt het teveel aan spanning weggewerkt door

de regelweerstand. De overtollige elektrische energie wordt daarin omgezet in warmte. Zo'n weerstand moet dan ook behoorlijk zwaar zijn.
Zolang de trein nog niet in beweging is, is de stroom door het anker naar verhouding vrij groot. Over de regelweerstand ontstaat dan ook een flinke spanningsval. Nu draaien we de regelweerstand zover terug, tot het anker de mechanische weerstand van de vertragingstandwielen e.d. overwint en gaat draaien. Direct wordt nu de ankerstroom kleiner doordat de tegen-e.m.k. de stroom tegenwerkt. Door die kleinere stroom daalt ook de spanningsval over de regelweerstand. Het gevolg daarvan is, dat de spanning op de motor opeens omhoog gaat. Het resultaat van dit alles is, dat de trein plotseling met een schok in beweging komt en direct al een behoorlijk vaartje heeft. Echt natuurgetrouw optrekken is totaal onmogelijk.
Een tweede groot nadeel van een dergelijke regelaar is, dat de snelheid niet constant blijft als er meer stroom wordt afgenomen. Zodra er bijvoorbeeld een tweede loc op dezelfde regelaar wordt aangesloten, wordt de stroom opeens veel groter, de spanningsval over de regelweerstand neemt toe en de eerste trein gaat opeens veel langzamer rijden. Een zeer merkwaardige situatie in het spoorwegbedrijf.

Regelaar met aftaktransformator

Dit principe is getekend in afb. 3-3. Dit is al een veel betere methode al wordt nu niet meer voldaan aan eis 1. Bij een dergelijke regelaar is de secundaire van de trafo voorzien van een groot aantal aftakkingen. Met een draaischakelaar wordt steeds een andere spanning ingeschakeld. Elke volgende aftakking is dan bijv. 0,5 of 1 V hoger. Dit houdt dan wel in dat de snelheidsverandering niet geleidelijk maar schoksgewijs verloopt.

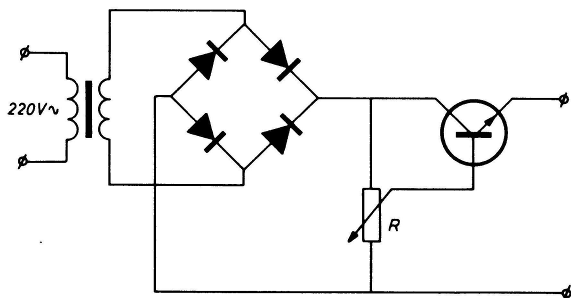


Afb. 3-3. Aftaktransformator.

Hoe meer standen de schakelaar heeft hoe beter, maar de trafo wordt dan wel prijzig. Een alternatief is de zgn. regeltrafo. Maar de elektronica biedt veel interessantere mogelijkheden, zodat we hierop niet verder ingaan.

Eenvoudige transistorregeling

Een kleine verbetering is de toepassing van een transistor (zie afb. 3-4). De transistor wordt geschakeld als emittervolger. R fungeert hier als regelbare spanningsdeler. Met deze potmeter zetten we dus een bepaald deel van de voedingsspanning op de basis van de transistor.



Afb. 3-4. Snelheidsregelaar met transistor.

Deze spanning, verminderd met de basis-emitterspanning, verschijnt op de emitter. Het voordeel is, dat we nu gebruik kunnen maken van een gewone potmeter. De overtollige energie wordt door de transistor omgezet in warmte, zodat die wel goed gekoeld moet worden. Verder heeft deze methode weinig voordelen.
Naast de hierboven beschreven methodes zijn er nog wel meer zoals de Puls-Power- en Split-Potential-systemen, maar ook die bieden weinig voordelen en voldoen nauwelijks aan de eerder gestelde eisen, zodat we die maar overslaan.

3.5. Het „elektronische vliegwiel"

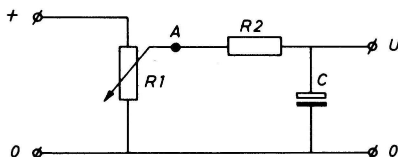
Een kwestie van gewicht

Er is één ding, dat onze treinen totaal missen, nl. massa of gewicht. Juist door hun enorme gewicht kunnen de treinen in het grootbedrijf niet plotseling wegschieten of abrupt tot stilstand komen. Daarom is het een bijzonder vreemd gezicht op een modelbaan een zwaarbeladen goederentrein binnen een paar centimeter tot stilstand te zien komen. In werkelijkheid heeft zo'n trein een enorm lange remweg. Ook het optrekken gaat heel traag. Het is bijzonder lastig, zo niet onmogelijk, onszelf zo goed in de hand te houden, dat we de regelaar met de juiste snelheid op- of terugdraaien. De loc voldoende gewicht geven, zodat de massa voldoende traagheid oplevert, is helemaal onmogelijk. Een dergelijk gewicht zouden de tere onderstellen nooit verdragen. Een rekensommetje maakt dat al gauw duidelijk.
1 ton is 1000 kg. Op schaal HO is dat dan nog altijd ruim 11 kg. En wat is nu

1 ton voor een locomotief? Er is nergens een stof te vinden, die een hoog genoeg soortelijk gewicht heeft om de loc ook maar bij benadering het juiste gewicht te geven. 1 l kwik weegt nog maar 13,6 kg en dat is al een volume van 10 · 10 10 cm. Al veel meer dan onze locs. Gelukkig komt de elektronica ons te hulp om dat probleem op te lossen.

Principe van het „vliegwiel"

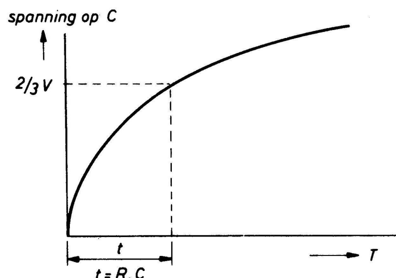
Een vliegwiel wordt in de praktijk vaak toegepast. Het is een groot en bijzonder zwaar wiel, dat op de as van de motor is aangebracht. Het kost veel moeite om het aan het draaien te krijgen, maar als het eenmaal draait, dan stopt het niet zomaar. Dat wiel zamelt in feite energie op en geeft die weer af aan de as als de motor geen voeding meer krijgt. Daardoor blijft de motor dan ook nog enige tijd doordraaien. Zo'n vliegwiel wordt ook toegepast in bandrecorders om de bandsnelheid constant te houden.
In de elektronica kennen we ook een element dat in staat is energie te verzamelen en enige tijd te bewaren. Dat is de condensator. Een goed voorbeeld daarvan zagen we al in hoofdstuk 2 bij de afvlakking.
Het principe van het elektronische vliegwiel is getekend in afb. 3-5. R1 vormt weer een regelbare spanningsdeler. We gaan beginnen als de loper helemaal onderaan staat. De spanning op punt A is dan 0 V. De uitgang U heeft dan ook 0 V. Draaien we de loper omhoog dan gaat de spanning op punt A direct mee maar die op U niet.



Afb. 3-5. Het „elektronische vliegwiel".

C zal de spanning van punt A willen volgen, maar dat gaat niet zo gemakkelijk omdat R2 het opladen vertraagt. De spanning op punt U zal dus wel gaan stijgen, maar dat gebeurt heel geleidelijk. Na verloop van tijd bereikt U dezelfde spanning als A. Dit alles lijkt veel op het vliegwiel dat eerst op gang moest komen. Draaien we de loper nu terug naar beneden, dan wordt punt A direct weer 0 V. Punt U blijft echter nog spanning houden. Eerst moet C1 zich ontladen en dat kan alleen maar via R2. Het zal dus ook weer enige tijd duren voordat U gelijk aan 0 V is geworden. Het vliegwiel draait dus nog enige tijd door.
Het opladen van een condensator gaat niet regelmatig of zoals we dat noemen lineair. In het begin gaat het vrij snel, maar hoe hoger de spanning op de condensator wordt, hoe langzamer het gaat. In afb. 3-6 is het verloop van het opladen getekend.

Een dergelijke curve of kromme noemt men een *e*-kromme. De spanning stijgt volgens een *e*-macht. Er is zelfs nog iets aan te berekenen. De tijd die verloopt tot de spanning op de condensator gestegen is tot 2/3 van de voedingsspanning noemt men de RC-tijd. Deze is gelijk aan het produkt van de weerstand en de capaciteit.



Afb. 3-6. Het laden van een condensator via een weerstand.

In formule $T = R \cdot C$
In deze formule moet R in Ω en C in F worden uitgedrukt. Even een voorbeeld. Met een weerstand van 100 kΩ en een condensator van 100 μF wordt de *RC*-tijd:

$$T = 100\,000 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 10^5 \cdot 10^{-4} = 10 \text{ s}$$

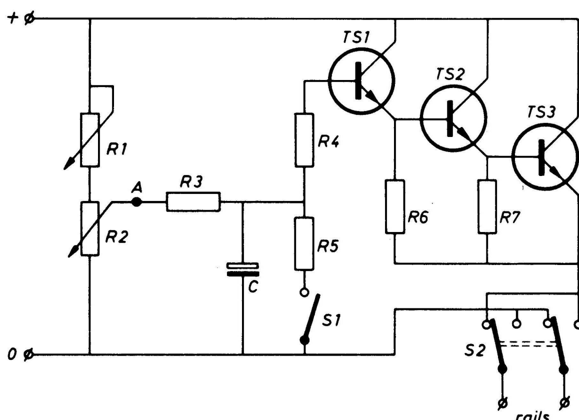
Eenvoudige snelheidsregelaar met „vliegwiel"

De schakeling van afb. 3-5 is voor de modelbaan natuurlijk nog niet te gebruiken. Zodra we punt U op de rails zouden aansluiten, zou het effect van de condensator weer vrijwel verloren zijn. Daarom moeten we die langzaam oplopende spanning van de condensator (zie afb. 3-6) eerst versterken.
In afb. 3-7 is het schema getekend van een complete regelaar met vliegwiel. We gaan uit van een spanning van ca. 14 V die geleverd kan worden door een voeding zoals beschreven op blz. 50 e.v. R1 en R2 vormen de regelbare spanningsdeler. R1 is een instelpotmeter. Deze zorgt ervoor, dat punt A niet zo hoog kan worden als de totale voedingsspanning. Hiermee kunnen we dan ook de maximale snelheid van de loc precies instellen.
R2 is een gewone potmeter. R3 is de weerstand die de optrek- en afremtijd bepaalt. Via R4 wordt de condensatorspanning toegevoerd aan een drietrapstransistorversterker. Deze versterker zorgt ervoor, dat de condensator vrijwel niet wordt belast. De stroom die de basis van TS1 trekt, is maar een fractie van de uiteindelijke door TS3 aan de loc geleverde stroom. S2 is een normale ompoolschakelaar.

Met de aangegeven componenten is de vertraging vrij lang. Iemand die het te langzaam vindt gaan, kan gerust R3 verlagen tot bijv. 10 kΩ. S1 en R5 hebben een speciale functie. S1 is namelijk de noodrem. Een ongeluk zit nu eenmaal in een klein hoekje en zou S1 er niet zijn, dan zou bij een dreigende botsing of iets dergelijks de trein nooit tijdig tot stilstand gebracht kunnen worden.
S1 staat normaal open. Moet de trein om de een of andere reden plotseling stoppen, dan sluiten we deze schakelaar.

ONDERDELENLIJST

C	100 µF
R1	1 kΩ
R2	10 kΩ
R3	100 kΩ
R4	1 kΩ
R5	100 Ω
R6	1 kΩ
R7	330 Ω
TS1	BC 107
TS2	2N2219
TS3	2N3055



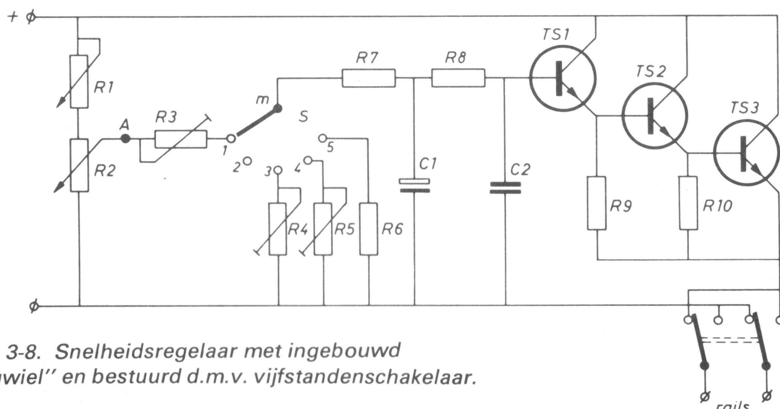
Afb. 3-7. Eenvoudige snelheidsregelaar met vliegwiel.

R5 heeft een heel lage waarde, zodat C1 zich vrijwel direct tot 0 V ontlaadt. De spanning op de rails valt dus direct weg en de trein stopt onmiddellijk.
Wordt TS3 niet apart gekoeld, dan kan deze regelaar één trein tegelijk bedienen. Maar er is niets op tegen om TS3 op een flinke koelplaat te monteren zodat we er wel een stuk of vier-vijf tegelijk kunnen voeden.

Snelheidsregelaar met vliegwiel en vijfstandenschakelaar

We kunnen de voorgaande regelaar nog iets uitbreiden, waardoor het gebruik nog veel interessanter wordt. De complete regelaar is getekend in afb. 3-8. Het rechter gedeelte van de schakeling is identiek aan dat van afb. 3-7. Het verschil zit in de manier waarop de „vliegwielcondensator" wordt geladen en ontladen. C1 is via weerstand R7 verbonden met het moedercontact van de vijfstandenschakelaar. R1 en R2 vormen weer een regelbare spanningsdeler. Met R2 wordt de maximaal te bereiken spanning ingesteld. Met draaischakelaar S1 in stand 1 (zoals getekend) gaat C1 zich via R7, S1 en R3 opladen tot de met R2 ingestelde spanning. Via de drietraps-versterker komt deze oplopende spanning dus ook op de rails. De trein zal dus langzaam optrekken.
De snelheid waarmee dit optrekken gebeurt, kan worden ingesteld met R3. Nu

draaien we S1 in stand 2. C1 is nu losgekoppeld van de spanning op punt A. De spanning op C1 blijft nu vrijwel constant. Er wordt alleen een heel klein stroompje geleverd aan de basis van TS1, maar dat is maar zo weinig, dat het heel lang duurt voordat de spanningsdaling op C1 merkbaar wordt in de snelheid van de trein. Ook verdwijnt er een klein beetje door de lekstroom door de condensator zelf. Op den duur zal de trein dus wel langzamer gaan rijden en uiteindelijk tot stilstand komen. Stand 2 noemen we de „vrijloop".



Afb. 3-8. Snelheidsregelaar met ingebouwd „vliegwiel" en bestuurd d.m.v. vijfstandenschakelaar.

ONDERDELENLIJST

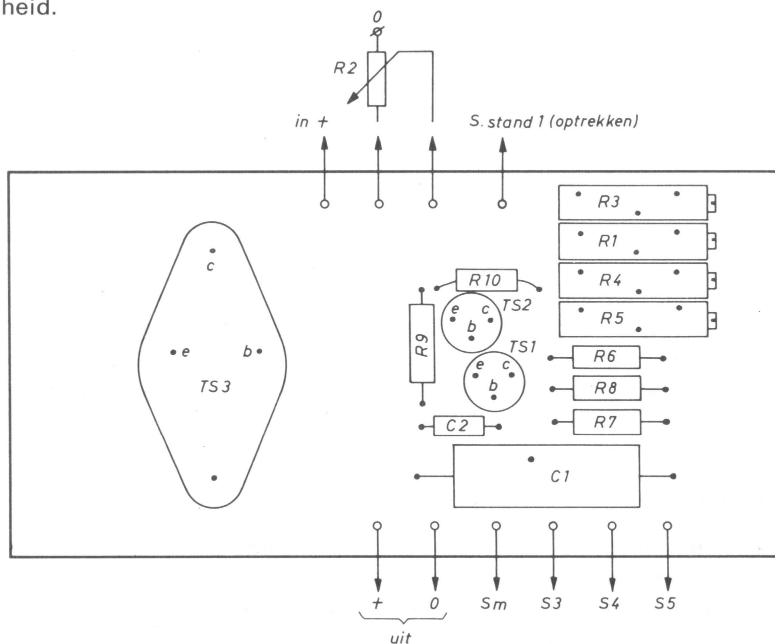
C1	100 μF/16 V	R7	1 kΩ/$^1/_4$ W
C2	0,1 μF (print)	R8	1 kΩ/$^1/_4$ W
R1	390 Ω/$^1/_2$ W	R9	1 kΩ/$^1/_4$ W
R2	1 kΩ (potmeter, lineair)	R10	330 Ω/$^1/_4$ W
R3, R4, R5	100 kΩ instelpotmeter (10 slags)	TS1	BC 107
		TS2	2N2219
		TS3	2N3055
R6	470 Ω/$^1/_4$ W		

Draaien we door naar stand 3 dan is C1 via R7, C1 en R4 verbonden met de 0. De condensator gaat zich ontladen met een snelheid die afhankelijk is van de grootte van R4. De spanning op de rails daalt dus en de trein remt af. In stand 4 gebeurt hetzelfde, alleen nu via R5. Het is de bedoeling dat de weerstand van R4 hoger is dan van R5. In stand 4 remt de trein dan licht af en in stand 4 veel sterker.

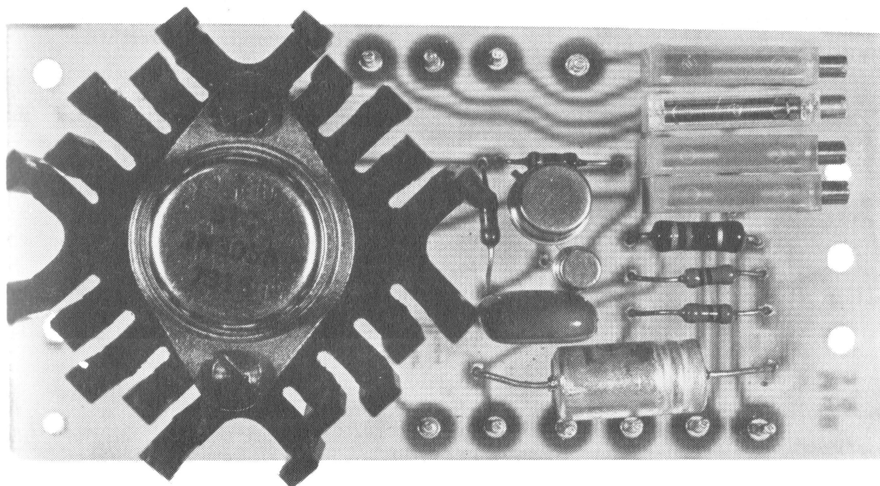
Stand 5 is weer de noodrem. R6 is zó klein, dat C1 vrijwel direct leeg is en de trein dus een noodstop maakt. Het is de bedoeling, dat we de trein alleen door middel van de vijfstandenschakelaar over de baan loodsen.

Eerst stellen we met R2 de maximale snelheid van de loc in en daarna zetten we de schakelaar op 1, „Optrekken". De trein vermeerdert langzaam snelheid. Zodra deze groot genoeg is, draaien we door naar stand 2. De snelheid blijft constant. Naderen we nu bijvoorbeeld een wissel, dan remmen we even licht

af op stand 3. Is de wissel gepasseerd terug naar 1. Zijn we het station eenmaal uit, dan laten we de schakelaar in stand 1 staan. De trein bereikt nu zijn maximale snelheid.



Afb. 3-9. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 3-8 (zie ook blz. 169).

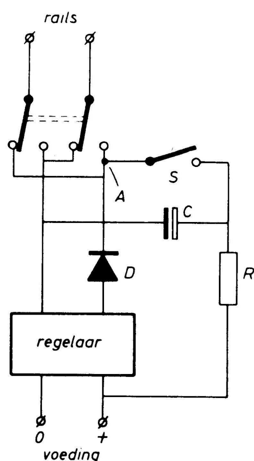


Afb. 3-10. Snelheidsregelaar volgens printontwerp 3.9. Ook hierbij is de 2N3055 op een vingerkoelelement bevestigd.

Zodra we het volgende station naderen, beginnen we licht te remmen. Zo nodig remmen we op het laatst nog even op stand 4 om de trein keurig langs het perron tot stilstand te laten komen. Stand 5 gebruiken we normaal niet. Die is alleen voor uiterste noodgevallen bestemd als rem 4 nog te traag is en er ongelukken dreigen te gebeuren.
Op deze wijze met de treinen rijden, is wel veel moeilijker en vergt enige oefening, maar het is ook veel boeiender.
Hoewel de regelaars met vliegwiel al veel beter zijn dan de conventionele voldoen ze toch nog niet helemaal aan de gestelde eisen. Met name het op gang komen, laat nog iets te wensen over. Een oplossing daarvoor wordt gegeven in par. 3.6.
Voor de regelaar van afb. 3-8 wordt ook weer een compleet printontwerp gegeven in afb. 3-9. Op deze print komen alle onderdelen behalve potmeter R2, de draaischakelaar en de ompoolschakelaar die alle op het bedieningspaneel moeten worden aangebracht. Meer details over de print worden gegeven in hoofdstuk 9.

3.6. Optrek-hulpschakeling

De moeilijkheid bij alle hiervoor genoemde regelaars is steeds dat we eerst de mechanische weerstand van het anker moeten overwinnen.
De meeste locomotieven komen bij een spanning van 2,5 V nog niet spontaan op gang. Zijn ze echter eenmaal in beweging, dan rijden ze rustig door op een veel lagere spanning. Bij langzaam terugregelen van de spanning rijden sommige locs zelfs nog bij een spanning van ca. 1,8 V.
Geven we nu de loc bij een spanning van zo'n 2 V met de hand een duwtje dan komt hij op gang en blijft langzaam rijden.

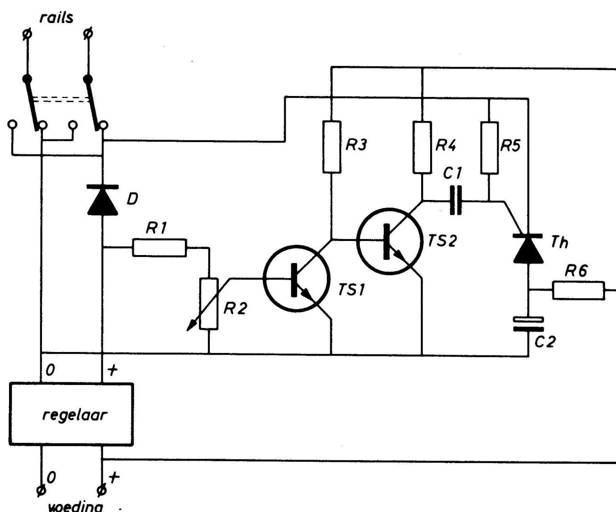


Afb. 3-11. Principe van de optrek-hulpschakeling.

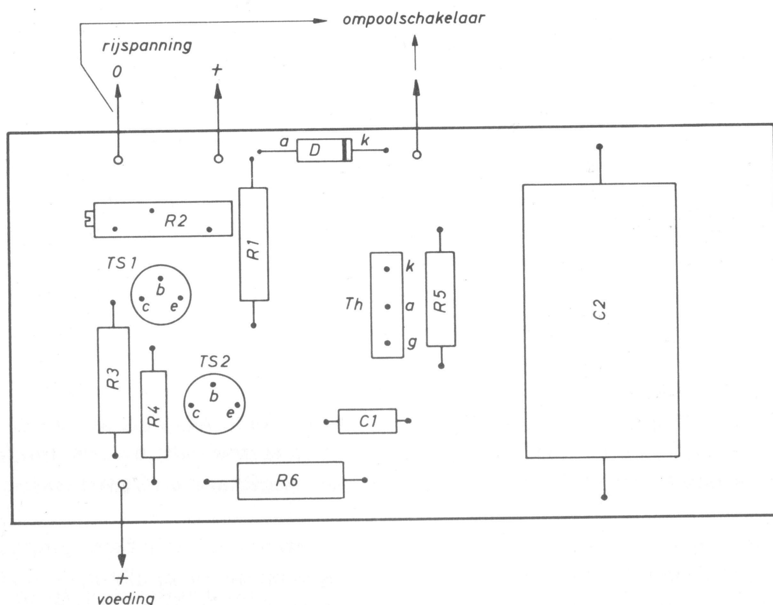
Maar het is natuurlijk te gek om iedere loc met de hand aan te duwen. Gelukkig kunnen we hem ook een „elektrisch duwtje" geven. Dat duwtje bestaat uit een heel korte stroomstoot van een hogere spanning. Het principe is getekend in afb. 3-11.
Onderaan in de tekening is de regelaar voorgesteld als een rechthoek. Dit kan dus elke van de hiervoor genoemde regelaars zijn. De optrek-hulpschakeling is aangebracht tussen de eigenlijke regelaar en de ompoolschakelaar. C is via R verbonden met de + voedingsspanning, dus ca. 14 V.
Moet de loc nu een duwtje hebben, dan sluiten we S. Op dat moment is de uitgangsspanning van de regelaar bijv. 2 V. C kan zich dus heel snel ontladen. Punt A wordt nu opeens 14 V. Dit heeft tot gevolg, dat er een flinke stroomstoot door de loc-motor gaat.
D dient om de regelaar te beschermen. Zodra A 14 V wordt, staat D gesperd. De anode was immers pas +2 V. De katode is dus positief t.o.v. de anode. De loc-motor heeft naar verhouding maar een lage weerstand en C zal dus vlug leeg zijn.
Maar juist die korte stroomstoot is voldoende om het anker in beweging te krijgen. Zodra de condensator leeg is, moet de regelaar het weer alleen doen. Maar de motor, die nu op gang is, zal blijven draaien. R is zó groot, dat de stroom die daar doorheen gaat terwijl S gesloten is, te klein is om veel invloed te hebben. Daardoor duurt het natuurlijk wel even voordat C weer is opgeladen, omdat de oplaadsnelheid wordt bepaald door R.
De kunst is nu om S precies op het juiste tijdstip te sluiten. Maar om dat steeds

ONDERDELENLIJST

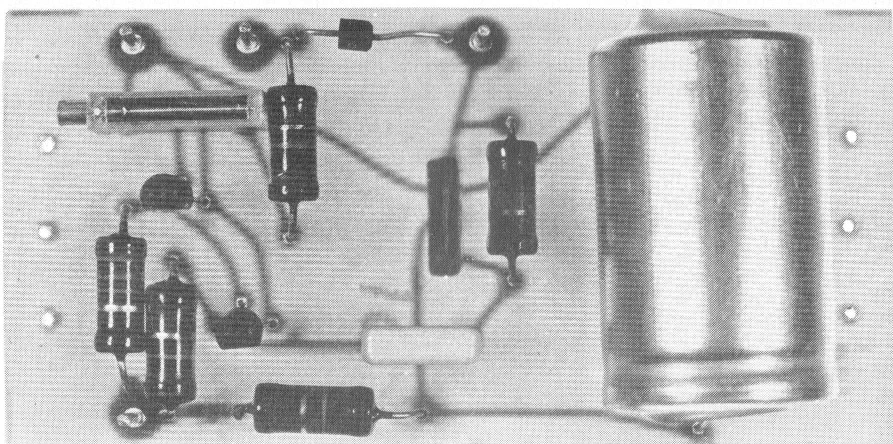
C1	0,1 μF
C2	1000 μF
R1	1 kΩ
R2	1 kΩ
R3	2200 Ω
R4	1500 Ω
R5	1 kΩ
R6	1 kΩ
TS1	BC 107
TS2	BC 107
D	1N4001
Th	1N4441



Afb. 3-12. Complete optrek-hulpschakeling.



Afb. 3-13. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 3-12 (zie ook blz. 169).



Afb. 3-13a. Optrek-hulpschakeling volgens printontwerp 3-13.

met de hand te doen, is ook niet erg elegant. We gaan de schakeling dus verder automatiseren. In afb. 3-12 zien we het schema.
S is nu vervangen door de thyristor Th. Via R6 kan C2 zich opladen tot de volle voedingsspanning. R1 en R2 vormen een instelbare spanningsdeler. R2 wordt

zó ingesteld dat bij een uitgangsspanning van ca. 2 V de spanning op de basis van TS1 gelijk is aan de basis-emitterspanning.
Voordat die spanning wordt bereikt, staat TS1 dus gesperd, waardoor TS2 stroom kan trekken via R3. TS2 is dus in geleiding en punt A (collector TS2) is vrijwel 0 V. Via R5 wordt de gate van Th op dezelfde spanning gehouden als zijn katode. De thyristor is dus gesperd. Komt de uitgangsspanning van de regelaar nu boven 2 V dan gaat TS1 stroom trekken. TS2 zal daardoor dicht gaan. Punt A gaat dus opeens van 0 naar 14 V.
Deze positieve spanningssprong gaat door C1 en bereikt de gate van Th. De thyristor gaat open en C2 ontlaadt zich snel over de loc-motor. De trein krijgt dus het benodigde duwtje. Zodra C2 ontladen is tot 2 V gaat de thyristor weer dicht, omdat de stroom die door R6 vloeit te klein is om hem in geleiding te houden.
C2 gaat zich dus direct weer opladen en is al gauw weer klaar voor de volgende duw. De thyristor blijft nu echter dicht, omdat punt A nog steeds 14 V is en er alleen maar *spanningssprongen* de condensator kunnen passeren. De schakeling doet dus verder niets.
Daalt de spanning van de regelaar onder de 2 V dan gaat TS1 weer dicht en TS2 weer open. Punt A springt van 14 V naar vrijwel 0 V. Deze negatieve spanningssprong heeft geen effect op de thyristor. Pas als de spanning weer boven de 2 V uitkomt, vuurt de schakeling een stroomstoot af.
De juiste stand van R2 is van te voren niet aan te geven. Die moet proefondervindelijk worden bepaald. Niet elke loc reageert hetzelfde, zodat we weer naar een compromis zullen moeten zoeken. De grootte van C2 bepaalt de kracht van de „duw''. In de praktijk blijkt 1000 μF goed te voldoen.

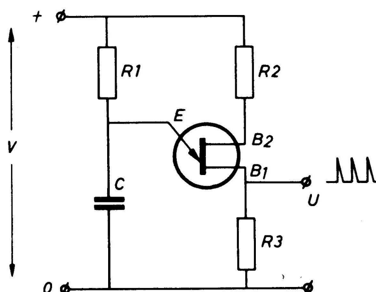
3.7. Snelheidsregeling d.m.v. fase-aansnijding

De UJT-schakeling

Bij de fase-aansnijding gebruiken we een aantal onderdelen, die we nog niet eerder toegepast hebben, nl. de thyristor (zie blz. 37) en de Uni-Juction-Transistor. Aan de hand van het schema in afb. 3-14 gaan we nu eerst de werking bekijken van deze bijzondere transistor.

Zoals we in dit schema kunnen zien, is het schemasymbool van UJT nogal afwijkend van dat van een gewone transistor. Twee van de aansluitingen hebben ook een andere naam. De aansluiting met het pijltje (dus naar punt A in het schema) heet weer de emitter, de onderste aansluiting (R3) is basis 1 (BI) en de bovenste (R2) basis 2 (B2). De werking van de schakeling is als volgt:
Zodra de spanning *U* wordt aangesloten, zal er een stroompje gaan lopen van de + door R2, B2, B1 en R3 naar 0. Dit stroompje is erg klein, dus daar praten we verder niet over. De overgang van de emitter naar B1 is gesperd.

De combinatie R1 en C kennen we al. C zal zich gaan opladen via R1. Zodra nu de spanning op punt A ongeveer 0,6 · *U* is geworden, slaat de emitter plotseling door. Eerst was er een heel hoge weerstand tussen de emitter en B1 en nu daalt die weerstand opeens tot vrijwel 0. Het gevolg is dat C zich heel snel via de emitter, B1 en R3 ontlaadt tot 0 V. Aangezien R3 klein is, zal dit ontladen erg snel gebeuren.



Afb. 3-14. De UJT-schakeling.

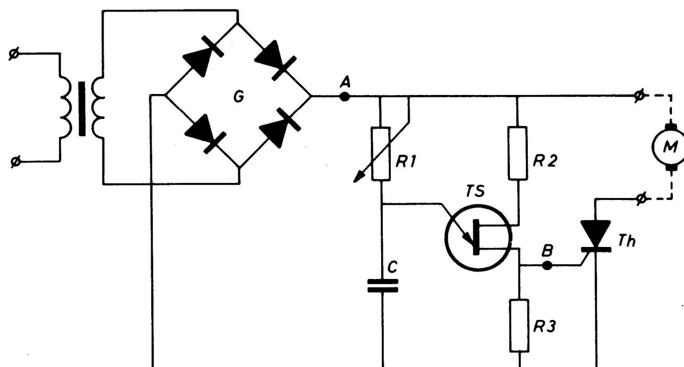
Dit heeft tot gevolg dat de spanning op punt U, die eerst 0 V was, opeens omhoog schiet. Zodra de condensator is ontladen, gaat de UJT weer dicht. De spanning op U wordt dan weer 0 V.
Nu kan C zich opnieuw gaan laden. Zodra het schakelpunt weer bereikt is, slaat de UJT door en verschijnt er weer een spanningssprong op punt U. Dit gaat steeds zo door. We krijgen bij U een reeks spanningspieken of impulsen. We zeggen, dat een schakeling die een regelmatig veranderende spanning afgeeft, oscilleert.Er zijn vele typen oscillatoren. De schakeling volgens afb. 3-14 noemen we een relaxatie-oscillator.

Principe van de fase-aansnijding

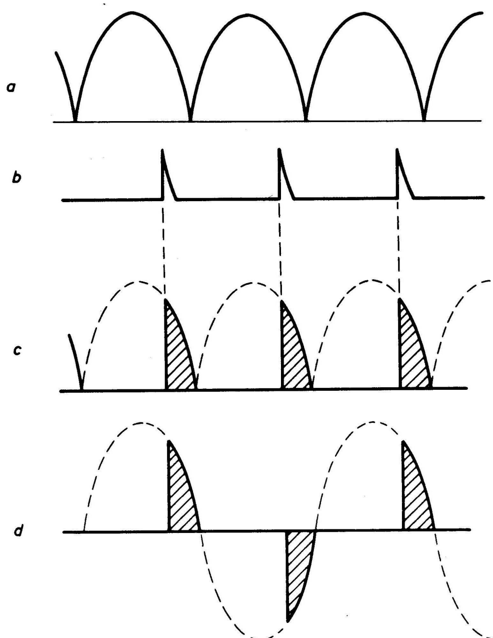
In afb. 3-15 herkennen we al direct de relaxatie-oscillator van afb. 3-14. We gaan uit van een transformator en een bruggelijkrichter. Op punt A staat dus een pulserende gelijkspanning, zoals weergegeven in afb. 3-16a. Met opzet is in deze schakeling de bij de voedingsschakelingen gebruikelijke afvlakcondensator weggelaten. We moeten voor deze schakeling een echte pulserende gelijkspanning hebben. De spanning wordt dus telkens even 0 en wel 100 × per seconde. De belasting, in dit geval de loc-motor, is aangesloten tussen de + van de gelijkrichter en de anode van de thyristor. Als de spanning gaat stijgen, zal er nog geen stroom door de motor kunnen gaan, omdat de thyristor nog niet open is. (Zie hiervoor blz. 37). Ook de spanning op de UJT-schakeling stijgt. C1 gaat zich via R1 opladen. Zodra het schakelpunt bereikt is ontstaat er over R3 een positief-

ONDERDELENLIJST

G	B40C2200
C	1 μF
R1	100 kΩ
R2	560 Ω
R3	47 Ω
TS	2N2646
Th	2N4441



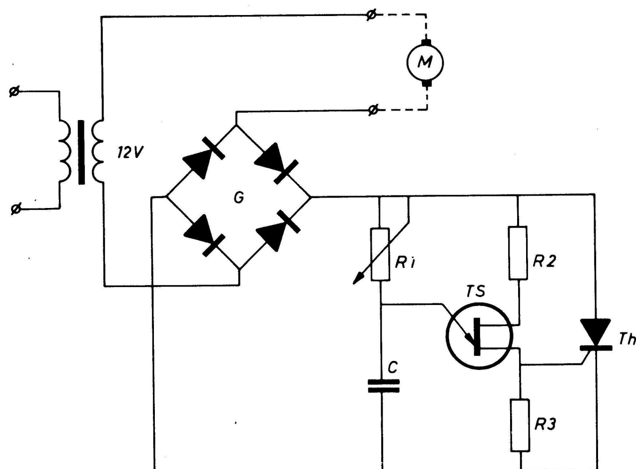
Afb. 3-15. Snelheidsregelaar volgens het faseaansnijdingsprincipe.



Afb. 3-16. Spanningsverloop op diverse punten in de schakeling van afb. 3-15. a. de spanning op punt A; b. de impulsen op punt B (gate van de thyristor); c. stroom door de thyristor (alleen het gearceerde gedeelte kan door de motor); d. spanning op de motor (afb. 3-17).

gaande impuls. Deze impuls start de thyristor. Nu gaat er wél stroom door de motor. In afb. 3-16 is dit schematisch weergegeven.
Zoals we zien is op het moment dat er stroom door de motor loopt de spanning al weer aan het dalen. De thyristor blijft open, totdat de spanning 0 is. Gaat de

spanning weer omhoog dan blijft de thyristor dicht. Het zal nu meteen duidelijk zijn waarom we in deze schakeling geen afvlakcondensator kunnen gebruiken. In dat geval wordt de spanning immers niet meer 0 en zou de thyristor steeds in geleiding blijven.
Tijdens de tweede fase komt er weer een impuls van de UJT en het laatste stuk van de fase wordt weer door de thyristor doorgelaten. Dit alles gebeurt 100 × per seconde. De loc-motor krijgt dus steeds maar een gedeelte van de pulserende gelijkstroom.
We zagen al, dat de tijd tussen twee impulsen afhankelijk was van R1 en C1. C1 is in afb. 3-15 vast, maar R1 is uitgevoerd als potentiometer, geschakeld als variabele weerstand. Hoe kleiner R1 is hoe sneller de UJT zijn schakelpunt bereikt zal hebben en hoe eerder in elke fase de thyristor geopend zal worden. De snelheid van de trein is dan groot.
Verhogen we R1 dan komt de impuls steeds later in elke fase en vermindert de trein vaart. Het kan zelfs zover komen, dat de impuls te laat komt. De thyristor gaat dan helemaal niet meer open en de trein staat stil. De snelheid van de trein is dus continu regelbaar met R1. Nu is ook direct de naam fase-aansnijding duidelijk. We snijden als het ware gewoon stukken van elke fase af.
Dit type regelaar vertoont niet het bezwaar van de voorgaande, dat bij lage snelheden de overtollige energie wordt omgezet in warmte. Het gedeelte van een fase dat we niet gebruiken, wordt door de thyristor eenvoudig niet doorgelaten. Verder heeft deze methode weinig voordelen. Het op gang komen, is nog steeds het moeilijke punt al gaat het met deze methode al aanmerkelijk beter.
Het inbouwen van een vliegwiel is geen eenvoudige zaak, zodat we daar maar niet verder op ingaan. Een nadeel van deze schakeling is, dat hij nogal wat radiostoring veroorzaakt.



ONDERDELENLIJST

G	B40C2200
C	0,1 μF
R1	100 kΩ
R2	560 Ω
R3	47 Ω
TS	UJT 2N2646
Th	1N4441

Afb. 3-17. Snelheidsregelaar voor wisselstroom.

Fase-aansnijdingsregeling voor het wisselstroomsysteem

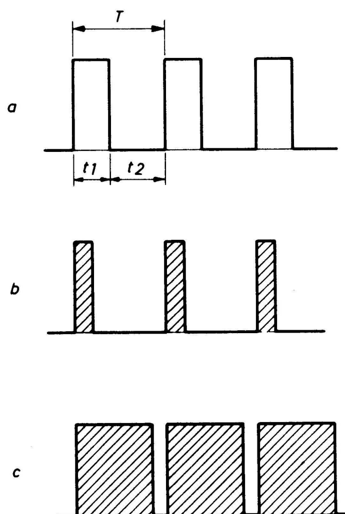
Toch heeft dit systeem nog een bijzonder leuke bijkomstigheid. Zonder ingrijpende wijzigingen is deze regelaar namelijk ook te gebruiken voor het wisselstroomsysteem. Alleen de loc moet op een andere plaats in de schakeling worden aangesloten (zie afb. 3-17).
De motor wordt nu vóór de gelijkrichter aangesloten, want dáár hebben we immers nog een normale wisselspanning. De thyristor fungeert nu achter de gelijkrichter als kortsluiting. De hele stroomkring is pas gesloten als de thyristor geleidt. Door de motor gaat nu een stroom (zie afb. 3-16d).

3.8. Snelheidsregeling d.m.v. impulsbreedtemodulatie

Algemeen principe

Geen van de regelaars die we tot nu toe hebben behandeld, voldoet aan de in par. 3.3 gestelde eisen. Steeds gooit het op gang komen van de loc roet in het eten, al kunnen we met behulp van de optrek-hulpschakeling al redelijke resultaten bereiken.
Nu zijn we toe aan een systeem, dat werkelijk volledig aan alle eisen voldoet. Dat is het impulsbreedtemodulatiesysteem.
Bij de hiervoor besproken methodes, afgezien van de fase-aansnijding, pasten we steeds een continue regeling van de stroom door het anker toe. Bij de fase-aansnijding krijgt de loc stroomstootjes doordat we steeds stukjes van elke fase „afsnijden", maar de amplitude van de stroomstootjes varieert ook steeds, omdat we nu eenmaal uitgaan van een sinusvormig verlopende spanning.
Het grondprincipe van de impulsbreedtemodulatie is nu, dat we aan de locmotor steeds stroomstootjes van gelijke amplitude toevoeren. Elke stroomstoot heeft de volle voedingsspanning. In plaats van stroomstootjes spreken we liever van *impulsen.* Tijdens zo'n impuls krijgt de motor de volle spanning toegevoerd. In afb. 3-18a is een reeks impulsen getekend.
De tijd tussen het begin van twee opeenvolgende pulsen noemen we de cyclustijd *T*. t_1 is de tijd van een volledige impuls of de impulsbreedte terwijl de tijd tussen twee impulsen de impulspauze t_2 is.
De amplitude van iedere impuls is steeds de volle voedingsspanning. Dat zal dus meestal zo'n 12 V zijn. Bij de impulsbreedtemodulatie zorgen we er nu voor, dat de cyclustijd *T* steeds gelijk blijft. Door de verhouding tussen t_1 en t_2 te variëren, veranderen we het gemiddelde vermogen, dat de motor krijgt. Afb. 3-18b geeft de situatie voor lage snelheid weer.
We zien, dat *T* hetzelfde is. t_1 is veel kleiner dan t_2. De motor krijgt dus steeds maar heel korte impulsen van 12 V. Maar omdat die impuls de volle voedingsspanning op de motor brengt, zal de motor soepel op gang komen en heel langzaam blijven draaien, tenminste als de tijd tussen twee opvolgende impulsen niet al te lang is. In afb. 3-18c is de impulsbreedte veel groter dan de -pauze.

De motor krijgt nu bijna de hele tijd T de volle spanning. De trein zal dan ook met vrijwel maximale snelheid over de baan stuiven.
Proefondervindelijk is vastgesteld dat de beste impulsfrequentie ca. 100 Hz is (er komen dus 100 impulsen per seconde). Bij lagere frequenties gaat de locmotor erg brommen en wordt het rijden een beetje schokkerig. Maken we de frequentie te hoog, dan wordt de warmteontwikkeling in de motor ontoelaatbaar groot.



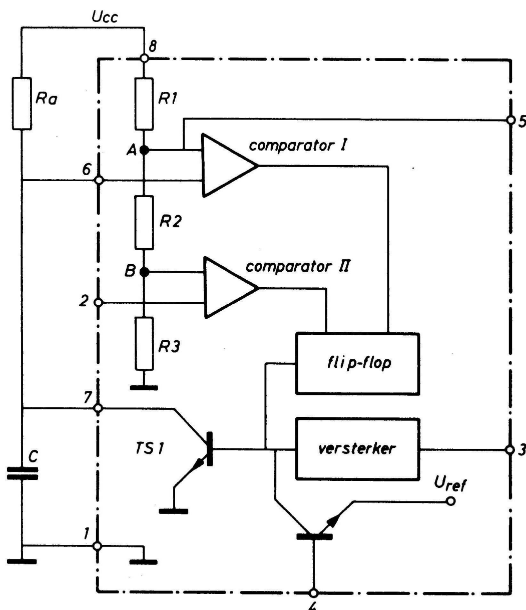
Afb. 3-18. Principe van de impulsbreedtemodulatie.

Een impulsfrequentie van 100 Hz betekent dat er 1 : 100 = 0,01 s of 10 ms beschikbaar is voor T. De meeste locomotieven komen net op gang bij een impulsbreedte van 1,5 à 2,5 ms. Deze waarde varieert nogal, zodat we weer een gemiddelde zullen moeten nemen.
Het regelen van de snelheid komt er nu dus op neer, de impulsbreedte te variëren van ca. 2 tot 10 ms bij een herhalingsfrequentie van 100 Hz.

De timer NE 555

Voor het opwekken van de impulsen gebruiken we een lineaire geïntegreerde schakeling, een zgn. monolitische timer. We zullen dit IC nog vele malen tegenkomen, zodat we nu eerst vrij uitgebreid ingaan op de werking van dit „wonder in miniatuur". De afmetingen van dit prachtige stukje microtechniek zijn maar ca. 9 × 6 × 2 mm.
Toch zijn er maar liefst 25 transistor- of diodefuncties en 15 weerstanden in verwerkt. De uitwendige afmetingen worden in hoofdzaak bepaald door de 8

aansluitingen die het actieve inwendige met de buitenwereld moeten verbinden.
Het is natuurlijk volkomen zinloos hier het totale schema van de timer te gaan napluizen. Het belangrijkste is dat we weten hoe de schakeling als geheel functioneert en waar de diverse aansluitingen voor dienen. Daarom volstaan we met een zgn. „blokschema" (zie afb. 3-19).



Afb. 3-19. Blokschema van de NE 555.

Alle onderdelen binnen het grote vierkant bevinden zich in het IC. De extern aangesloten onderdelen dienen om het IC een bepaalde functie te laten vervullen. Een tweetal in het blokschema voorkomende onderdelen moeten we even nader verklaren.
Het IC bevat twee zgn. spanningsvergelijkers of comparatoren. Dat zijn schakelingen die in staat zijn twee spanningen met elkaar te vergelijken en de uitkomst van die vergelijking door te geven aan de uitgang. Zijn die twee spanningen aan elkaar gelijk, dan is de uitgang bijvoorbeeld „hoog", d.w.z. gelijk aan de voedingsspanningen. Zijn ze niet aan elkaar gelijk dan is de uitgang laag (0).
Verder vinden we in het binnenste van de 555 nog een flip-flop. De officiële naam van een dergelijke schakeling is bi-stabiele multivibrator. Het is een schakeling met twee stabiele toestanden. Arriveert er op de ene ingang een impuls, dan gaat de uitgang bijvoorbeeld „hoog" en blijft dan hoog, al is de impuls allang weer verdwenen. Bij het verschijnen van een impuls op de andere ingang klapt

de flip-flop terug en wordt de uitgang weer 0. Hij blijft nu 0 tot er weer een impuls op de eerste ingang komt. De uitgang klapt dus steeds van hoog naar laag en terug.
We kunnen de werking van de NE 555 nu het best nagaan aan de hand van de eenvoudigste toepassing nl. de tijdschakelaar of monostabiele multivibrator, ook wel „one shot"-schakeling genoemd. In afb. 3-19 is het IC op deze wijze geschakeld.
R1, R2 en R3 zijn drie gelijke weerstanden van ca. 5 kΩ. Deze weerstanden vormen samen een spanningsdeler. Punt A (ingang comparator 1) wordt dus door deze spanningsdeler op $^2/_3$ van de voedingsspanning gehouden. Dit korten we in het vervolg af tot $^2/_3$ U_{cc}. Punt B (ingang comparator 2) staat op $^1/_3$ U_{cc}.
De tweede ingang van comparator 2 is de zgn. trigger- of startingang. Het uitgangssignaal van de flip-flop (in het vervolg afgekort tot F'F) wordt versterkt door een inwendige versterkerschakeling en is beschikbaar op aansluiting 3. In rust is deze uitgang 0.
De uitgang van de F'F is ook verbonden met de basis van TS1. Deze wordt daardoor in geleiding gehouden. De uitwendig aangesloten condensator C wordt dus op vrijwel 0 V gehouden. Er loopt een kleine stroom van + door Ra, TS1 naar 0.
Brengen we nu de triggeringang (2) op een spanning lager dan $^1/_3$ U_{cc}, een negatiefgaande spanningsverandering dus, dan schakelt comparator 2 om. Dit heeft tot gevolg, dat ook de F'F omklapt en de uitgang naar vrijwel U_{cc} gaat.

Door het omschakelen van de F'F wordt TS1 gesperd en de kortsluiting over C is opgeheven. C gaat zich opladen via Ra. Zodra de spanning op C een waarde van $^2/_3$ U_{cc} heeft bereikt, zijn de twee ingangen van comparator 1 aan elkaar gelijk en schakelt deze comparator om. De F'F klapt terug in zijn oorspronkelijke stand.
De uitgang gaat weer naar 0 en TS1 komt in geleiding. C ontlaadt zich heel snel over deze transistor en de schakeling is teruggekeerd in zijn uitgangstoestand. Op deze wijze geschakeld, heeft de NE 555 dus maar één stabiele toestand. Door een korte triggerimpuls schakelt hij in, maar na verloop van tijd valt hij vanzelf terug in zijn oorspronkelijke stand. Vandaar de naam mono-stabiele multivibrator.

De tijd dat de uitgang hoog blijft, wordt bepaald door Ra en C volgens de formu-

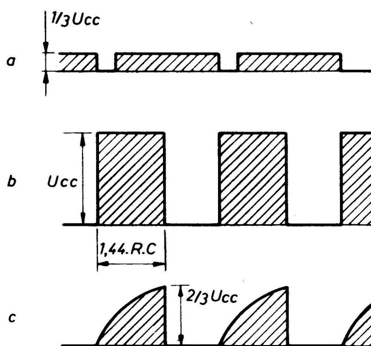
$$T = 1{,}1 \cdot R_a \cdot C$$

Is R_a bijvoorbeeld 100 kΩ en $C = 1$ μF dan wordt T:

$$1{,}1 \cdot 10^5 \cdot 10^{-6} = 0{,}11 \text{ s}$$

Zodra de timer gestart is, hebben volgende impulsen op de triggeringang geen effect meer.

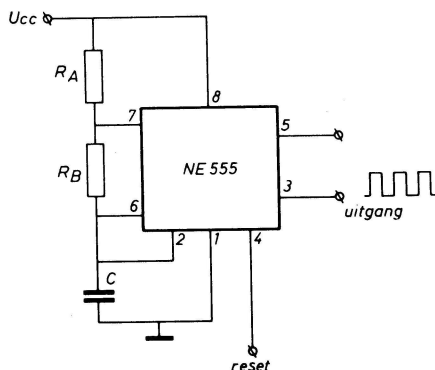
De tijd T wordt er niet door beïnvloed. Pas als de schakeling in zijn rusttoestand is teruggekeerd, kan er opnieuw worden gestart. De tijd kan echter wel worden beïnvloed met de resetingang 4. Wordt deze ingang tijdens het hoog zijn van de uitgang naar 0 V gebracht, dan gaat de uitgang direct mee naar beneden, dus ongeacht hoever C geladen is.
Laten we ingang 4 weer los of verbinden we hem met U_{cc}, dan start de met Ra en C ingestelde tijd opnieuw. C wordt door de reset dus ook ontladen. Gebruiken we deze reset-mogelijkheid niet, dan is het beter punt 4 met U_{cc} te verbinden om te voorkomen dat er storingen optreden.
De hierboven genoemde formule geldt alleen als we ingang 5 ongebruikt laten. Punt 5 is de zgn. modulatie- of controle-ingang. Zoals we in het blokschema kunnen zien, is punt 5 verbonden met A. Normaal is dit punt dus $^2/_3\ U_{cc}$ en dit spanningsniveau bepaalt het schakelpunt van comparator 1.
Brengen we nu op punt 5 een uitwendige spanning aan, die bijvoorbeeld lager is dan $^2/_3\ U_{cc}$, dan zal de comparator *eerder* schakelen. De tijd zal dan *korter* zijn dan met de formule berekend was. Maken we de spanning *hoger* dan $^2/_3\ U_{cc}$, maar uiteraard nooit hoger dan U_{cc}, dan duurt het langer vóór de spanning op de condensator het schakelpunt bereikt heeft en wordt de tijd *langer*. Met deze ingang kunnen we de lengte van de afgegeven impuls dus variëren. In afb. 3-20 zijn de diverse spanningen grafisch weergegeven.



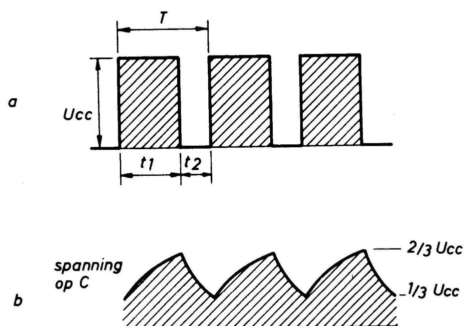
Afb. 3-20. Spanningsverloop op diverse punten van de NE 555 geschakeld als monostabiele multivibrator.
a. spanningsverloop op de triggeringang; b. uitgangsspanning; c. spanning op C.

In afb. 3-21 is de 555 geschakeld als a-stabiele multivibrator. Doordat de triggeringang 2 nu verbonden is met punt 6, zal de timer bij het inschakelen van de voedingsspanning direct vanzelf starten. De condensator was immers nog niet geladen.
C gaat zich opladen via Ra en Rb. De uitgang is nu dus hoog. Zodra de spanning op C gestegen is tot $^2/_3\ U_{cc}$ schakelt de timer terug naar zijn uitgangstoestand.

De uitgang gaat naar 0 en C kan zich ontladen. Maar dit ontladen kan nu niet zo snel. De ontlaadstroom moet via Rb. Punt 2 is verbonden met 6, dus zodra de spanning op C minder wordt dan $^1/_3\ U_{cc}$ zal de schakeling zichzelf opnieuw starten. De uitgang wordt weer hoog, C laadt zich weer op tot $^2/_3\ U_{cc}$, de schakeling klapt terug, enz.



Afb. 3-21. De NE 555 geschakeld als astabiele multivibrator.



Afb. 3-22. Spanningsverloop op diverse punten van de NE 555 geschakeld als astabiele multivibrator.

Dit gaat dus steeds zo door d.w.z. de timer oscilleert. De schakeling heeft nu geen enkele stabiele stand, vandaar de naam a-stabiele multivibrator. In afb. 3-21 zien we het spanningsverloop op de uitgang en afb. 3-22 toont het verloop van de spanning op de condensator. Deze spanning beweegt zich steeds tussen de waarden $^1/_3\ U_{cc}$ en $^2/_3\ U_{cc}$. De tijd dat de uitgang hoog is, is afhankelijk van Ra, Rb en C volgens de formule:

$$t_1 = 0{,}685 \cdot (R_a + R_b) \cdot C$$

De ontlaadstroom van C gaat alleen maar door Rb, dus t_2 wordt berekend volgens:

$$t_2 = 0{,}685 \cdot R_b \cdot C$$

De totale tijd tussen twee opeenvolgende impulsen is dan de som van deze twee tijden of in formule:

$$T = 0{,}685 \cdot (R_a + 2\,R_b) \cdot C$$

De herhalingsfrequentie is:

$$f = \frac{1{,}46}{(R_a + 2R_b) \cdot C}$$

De voedingsspanning van het IC mag liggen tussen 4,5 en 16 V. Door de uitgang 3 mag maximaal 200 mA worden geleverd. De belasting mag daarbij zowel van 3 naar U_{cc}, als van 3 naar 0 aangesloten worden.

Snelheidsregelaar volgens het impulsbreedtemodulatieprincipe

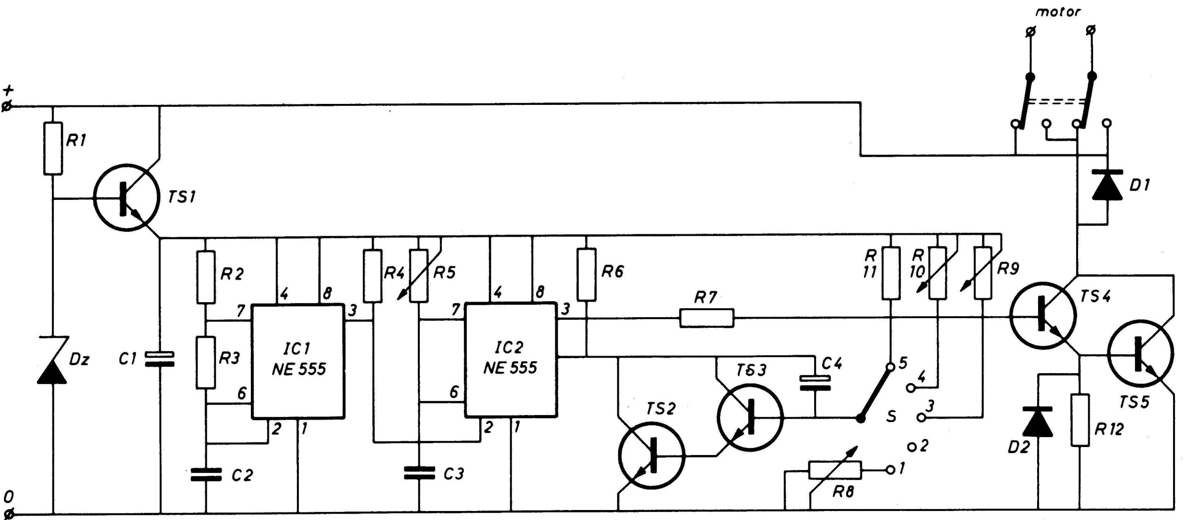
Afb. 3-23 toont het schema van deze regelaar. Zoals we zien is de opbouw van deze regelaar aanmerkelijk gecompliceerder dan die van de eerder beschreven types. Maar het loont beslist de moeite wat meer tijd en eventueel geld aan de bouw van deze regelaar te besteden, omdat de eigenschappen vele malen beter zijn dan die van de andere ontwerpen.
In deze regelaar zijn twee IC's opgenomen. Hoewel de NE 555 op een voedingsspanning tussen 4,5 en 16 V mag werken, is in de praktijk gebleken dat het beter is de voedingsspanning van de IC's op een lagere waarde in te stellen. Straks zullen we met één van de redenen daarvoor kennis maken. Voor die lagere waarde zorgt t_1 in samenwerking met zenerdiode Dz en weerstand R1. Dz is een 5,6 V zener zodat de spanning op de emitter van TS1 ca. 5 V zal zijn.
IC1 is geschakeld als a-stabiele multivibrator. De herhalingsfrequentie is met de aangegeven componenten ca. 100 Hz. IC2 is de eigenlijke modulator. Om IC2 te starten, is een negatiefgaande spanningsverandering op zijn triggeringang nodig. Deze ingang (2) is rechtstreeks verbonden met de uitgang van IC1. IC2 zal dus 100× per seconde worden gestart. Aangezien R3 klein is t.o.v. R2 zal de tijd dat de uitgang van IC1 laag is maar heel kort zijn. Dat moet ook, want de triggerimpuls mag niet langer zijn dan de minimum-uitgangsimpuls van IC2. IC2 is geschakeld als mono-stabiele multivibrator.
Na iedere triggerimpuls zal de uitgang enige tijd hoog gaan. De breedte van deze uitgangsimpuls wordt bepaald door R5 en C3 in combinatie met de spanning op controle-ingang 5. Deze modulatiespanning wordt verkregen uit een regelbare spanningsdeler, die gevormd wordt door R8 en R9.
Zouden we R9 weglaten, dan zou de spanning op ingang 5 regelbaar zijn van 0 tot 5 V. Maar de modulatie-ingang is alleen werkzaam tussen ca. 1,2 en 5 V. Zonder R9 zou de potentiometer dus een „dood" stuk hebben. Door de aanwezigheid van R9 is de spanning van punt 5 op de laagste stand van R8 ca. 1,2 V.

Afb. 3-23. Snelheidsregelaar volgens het impulsbreedtemodulatieprincipe.

ONDERDELENLIJST

C1	100 μF	R8	5 kΩ
C2	1 μF	R9	820 Ω
C3	0,33 μF	R10	100 Ω
R1	2200 Ω	TS1	2N2219
R2	15 kΩ	TS2	2N2219
R3	820 Ω	TS3	2N3055
R4	1 kΩ	Dz	5,6 V
R5	20 kΩ	D1	1N4001
R6	1 kΩ	D2	1N4001
R7	100 Ω		

De impulsbreedte aan de uitgang is dan minimaal. Met de aangegeven componenten zal dat ongeveer 2 ms zijn. Deze minimale breedte wordt met R5 precies ingesteld en wel zodanig, dat de locomotief nog nét niet rijdt. Met R8 is de snelheid dan verder continu regelbaar tot maximaal. Wanneer alles nauwkeurig is afgeregeld, zal de impulsbreedte met R8 op maximum precies 10 ms zijn, zodat de uitgang continu hoog is. Op uitgang 3 hebben we nu dus impulsen met een herhalingsfrequentie van 100 Hz en in breedte regelbaar van 2 tot 10 ms.
Maar daar kunnen we zonder meer nog geen trein op laten rijden. De NE 555 mag hoogstens 200 mA leveren en dat is veel te weinig. Trouwens de amplitude is ook maar 5 V. Tussen uitgang 3 en de loc-motor moet dus nog een versterker worden geplaatst.
Deze versterker wordt gevormd door TS2 en TS3. Deze transistoren zijn geschakeld als zgn. „Darlington". Als uitgang 3 van IC2 hoog is, kan TS2 via R7 stroom trekken, daardoor komt ook TS3 in geleiding en de volle voedingsspanning verschijnt op de rails.
De versterkingsfactor van de Darlington-schakeling is enorm hoog, namelijk het



Afb. 3-24. Snelheidsregelaar met vliegwiel en vijfstandenschakelaar volgens het impulsbreedtemodulatieprincipe.

ONDERDELENLIJST

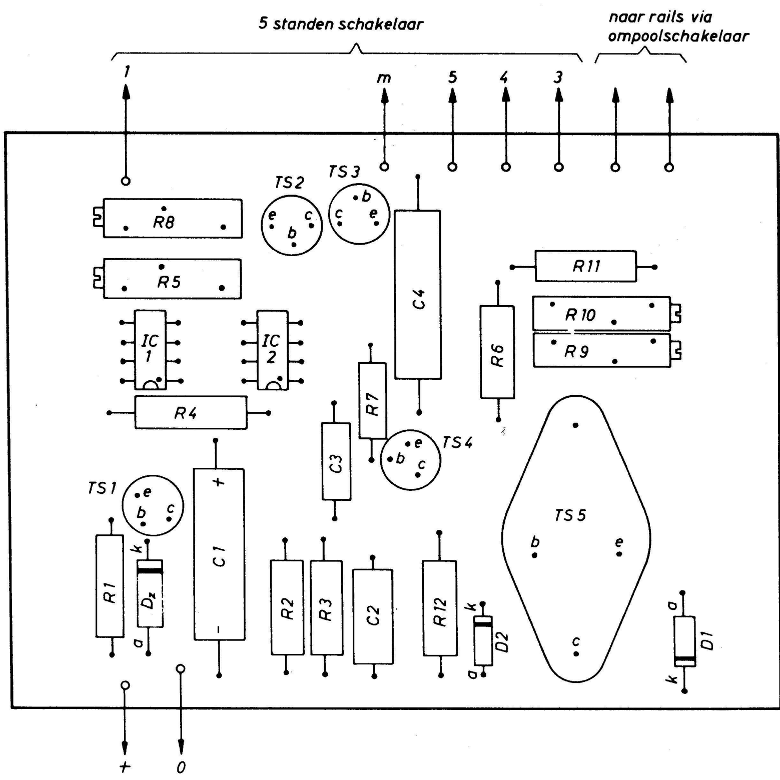
C1	100 μF/16 V	R5	20 kΩ	TS1	2N2219
C2	1 μF	R6	150 Ω	TS2	BC 107b
C3	0,33 μF	R7	100 Ω	TS3	BC 107b
C4	100 μF/16 V	R8	100 kΩ	TS4	2N2219
R1	2200 Ω/$^1/_2$ W	R9	500 kΩ	TS5	2N3055
R2	15 kΩ/$^1/_2$ W	R10	500 kΩ	Dz	5,6 V
R3	820 Ω/$^1/_2$ W	R11	1 kΩ/$^1/_2$ W	D1	1N4001
R4	1 kΩ/$^1/_2$ W	R12	100 Ω/$^1/_2$ W	D2	1N4001

produkt van de afzonderlijke versterkingsfactoren van TS2 en TS3. Stel de versterkingsfactor van TS2 = 300 en die van TS3 = 50, dan is de totale versterking dus 15 000. IC2 hoeft nu dus maar een heel kleine stroom te leveren.
R7 dient ter bescherming van het IC tegen eventuele kortsluiting op de rails. De waarde is 100 Ω. Er kan dus maar 5 : 100 = 50 mA door. Dit is nog maar een kwart van het maximaal toelaatbare. Een ruime veiligheidsmarge dus.
De Darlington heeft één nadeel. De spanningsval over deze transistorcombinatie is vrij groot, nl. 1,5 à 2 V. Zouden we de schakeling nu voeden met bijv. 12 V dan krijgt de loc maar impulsen van 10 V.
Dit is dan één van de redenen waarom we de IC's op een spanning van 5 V laten werken. We kunnen de totale voedingsspanning nu met een gerust hart verhogen. De spanning op de IC's is gestabiliseerd op 5 V. We moeten bij hogere spanningen alleen wel zorgen dat TS1 enigszins wordt gekoeld.
D2 en D3 dienen ter bescherming van de Darlington tegen de soms zeer hoge spanningspieken die kunnen ontstaan bij het uitschakelen van een motor. Normaal staan ze in sperrichting aangesloten.
Telkens als de motor uitgeschakeld wordt (en dat gebeurt maar liefst 100× per seconde), geeft de motor een flinke spanningspiek af die wel kan oplopen tot enkele honderden volts. Het vermogen van deze spanningspieken is maar gering, zodat ze voor onszelf volkomen ongevaarlijk zijn. Maar niet voor de transistoren, die dan ook een goede kans lopen vroeg of laat te sneuvelen. De polariteit van deze pieken is tegengesteld aan die van de voedingsspanning. Voor deze pieken staan de dioden in doorlaatrichting en ze worden dus afdoende afgeklemd.

IM-regelaar met vliegwiel en vijfstandenschakelaar

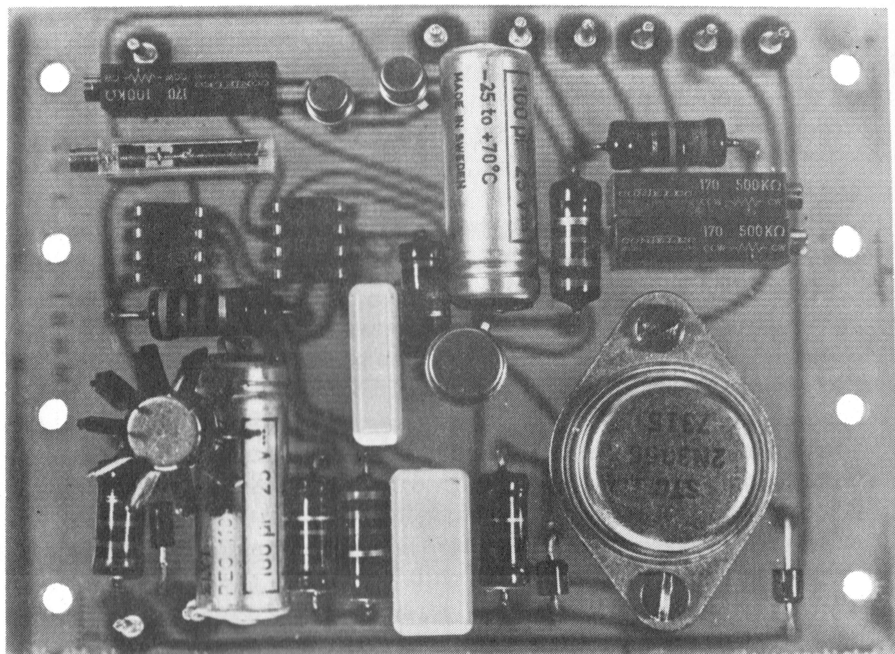
Deze regelaar is wel het „neusje van de zalm". Hij voldoet werkelijk aan alle gestelde eisen. Het impulsbreedtemodulatiesysteem waarborgt een vlotte start en opent de mogelijkheid héél langzaam te rijden. Het ingebouwde elektronische vliegwiel geeft een natuurgetrouwe optrek- en afremvertraging, terwijl de vijfstandenschakelaar de besturing aantrekkelijk maakt.
Alle toegepaste principes zijn in de vorige paragraaf al uitvoerig aan de orde geweest zodat we die nu verder kunnen laten rusten.
Het enige nieuwe in deze schakeling is de wijze waarop de modulatie-ingang (punt 5 van IC2) wordt gestuurd. De ingang is betrekkelijk laagohmig, zodat we de „vliegwiel"-condensator niet rechtstreeks daarop mogen aansluiten. Om die reden zijn TS2 en TS3 toegevoegd, geschakeld als Darlington-paar.
De vliegwielcondensator C4 wordt aangesloten tussen de basis van TS3 en de gezamenlijke collectoraansluitingen. De werking is nu als volgt: Met de schakelaar S in stand 5 (noodrem) is de basis van TS3 + 5 V. TS3 is volledig in geleiding waardoor ook TS2 stroom kan trekken en geheel open staat. Punt 5 van IC2 is daardoor 0,6 V (basis-emitterspanning van TS2). De breedte van de afgegeven

impulsen is nu dus minimaal. Draaien we S dan in stand 1 (optrekken), dan wordt de basis van TS3 minder positief en gaat C4 zich ontladen via R8.
Tijdens dit ontladen wordt de spanning op punt 5 langzaam hoger en de impulsen aan de uitgang breder. Het meest opvallende is, dat het vliegwiel nu juist andersom werkt dan in de schakeling van afb. 3-8. Dat komt,omdat de, als Darlington geschakelde, transistoren „inverteren" (omkeren). Wordt de basis van TS3 meer positief, dan gaat de collector juist naar 0 (negatiever dus). In stand 2 (vrijloop) komt hierdoor een klein probleempje om de hoek kijken. In de schakeling van afb. 3-8 wordt de snelheid van de trein in de vrijloopstand heel langzaam minder, doordat de condensator via de versterker-transistoren steeds verder ontladen wordt.
Dit langzame ontladen gebeurt in deze schakeling ook, alleen is het resultaat net andersom. De trein vermeerdert heel langzaam snelheid en dit is iets wat we helemaal niet kunnen gebruiken.



Afb. 3-25. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 3-24 (zie ook blz. 170).

Om dit euvel te verhelpen, moeten we punt 2 van de schakelaar via een weerstand van 1 MΩ verbinden met de +5 V. In het schema (afb. 3-24) en het printontwerp (afb. 3-25) is deze weerstand niet opgenomen.



Afb. 3-26. „Het neusje van de zalm''. Snelheidsregelaar volgens het impulsbreedtemodulatieprincipe met ingebouwd „elektronisch vliegwiel'' en vijfstandenschakelaar. Printontwerp 3.25. De voedingstransistor TS1 is voorzien van een koelster.

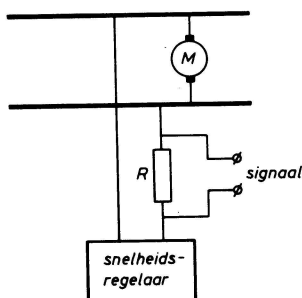
4. Signalen van de rijdende trein

4.1. Het begrip „signaal"

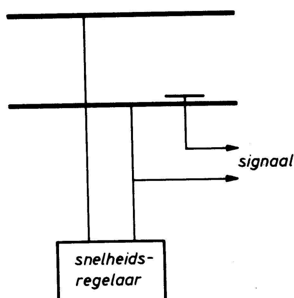
Langdurende en kortdurende signalen

Het spoorwegbedrijf is een bijzonder drukke aangelegenheid. Er is veel personeel nodig om alles in goede banen te leiden. Ook op een modelspoorbaan is heel wat te doen. We hoeven dan wel geen kaartjes te verkopen of te controleren, toch blijft er nog genoeg, vaak zelfs te veel, werk over.
Met de personeelsbezetting is het meestal droevig gesteld. Het komt er vrijwel steeds op neer, dat we alles alleen moeten doen, hoogstens bijgestaan door enkele jeugdige hulpjes, die ons juist vaak van de regen in de drup doen belanden. We moeten voor machinist, wisselwachter, seinwachter, kortom voor alles tegelijk spelen en dat is natuurlijk onmogelijk. Daarom moeten we de trein een heleboel dingen zelf laten doen. We krijgen dan te maken met *beveiliging* en *automatisering*. Deze twee onderwerpen, die we hierna apart gaan behandelen, hebben één ding gemeen. De betrouwbaarheid staat of valt met de betrouwbaarheid van de gegevens die we van de rijdende trein ontvangen. Die gegevens noemen we signalen. We hebben een elektrische modelbaan, dus zullen dat ook elektrische signalen zijn. Zo'n signaal bestaat uit een spannings- of een stroomverandering, waarmee we iets kunnen in- of uit-schakelen.
Globaal kunnen we de signalen in twee hoofdgroepen indelen, nl.: De langdurende en de kortdurende signalen. Een langdurend signaal zal dus gedurende een langere tijd aanwezig zijn, of zoals we zeggen, zal langer actief zijn.
Een kortdurend signaal, in het vervolg impuls genoemd, zal dus bestaan uit een korte stroomstoot of spanningssprong.
Beide soorten signalen zullen we op een modelbaan tegenkomen. Een scherpe scheiding is er natuurlijk niet tussen deze twee groepen te trekken, het ligt er maar aan, wat men lang- of kortdurend vindt. Aan de hand van twee voorbeelden, spreken we af wat we in het vervolg met een lang- en een kortdurend signaal bedoelen.
In afb. 4-1 is een lage weerstand in serie geschakeld met de snelheidsregelaar. Zodra de trein gaat rijden, zal er over deze weerstand een spanningsval ontstaan. Deze spanning over R noemen we een langdurend signaal. Zolang de trein rijdt is het signaal aanwezig. In afb. 4-2 hebben we te maken met een kort-

durend signaal. Een contactrail tussen de rails maakt bij het passeren van de trein even contact met een verende pen onderaan de loc. Dit signaal is dus alleen maar actief tijdens het passeren.
Kortdurende signalen zullen verreweg het meest worden toegepast. Een impuls kan zowel positief- als negatiefgaand zijn, d.w.z. is een signaal in rust, bijv 0 V, dan zal het bij het actief worden positiever worden, dus een positiefgaande impuls. Is het daarentegen in rust hoog dan wordt het in actie minder positief. In dat geval is het een negatiefgaande impuls.



Afb. 4-1. „Langdurend" signaal.



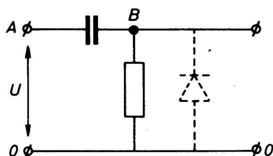
Afb. 4-2. „Kortdurend" signaal.
Het sleepcontact van de locomotief verbindt de contactstrip met de verstverwijderde rail.

Het differentiërend netwerk

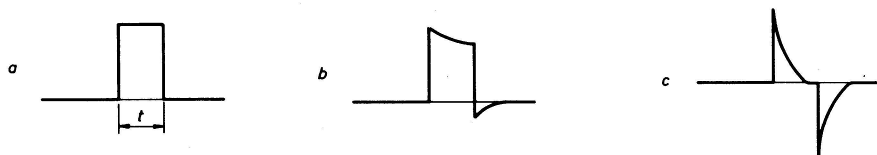
Een schakeling die we bij het verwerken van impulsen nogal eens tegenkomen is de zgn. differentiator. In afb. 4-3 is zo'n differentiatorschakeling weergegeven. Hij bestaat uit een condensator en een weerstand.
Komt er op punt A een positiefgaande spanningsverandering, dan gaat de spanning op punt B direct mee. Punt B gaat dus van 0 naar +U. Maar daarna zal C

zich via de weerstand gaan laden. We bespreken nu twee mogelijkheden, nl.:

1. De *RC*-tijd van de combinatie is groter dan de tijd *t* van de impuls ($RC > t$).
2. De *RC*-tijd is veel kleiner dan *t* ($RC \ll t$).



Afb. 4-3. Differentiërend netwerk.



Afb. 4-4. a. Impuls op punt A. b. Spanningsverloop op B voor $RC > t$. c. Spanningsverloop op B voor $RC \leqq t$.

In het eerste geval zal C nog maar gedeeltelijk geladen zijn, als de impuls op A weer verdwijnt. Dit is dus een negatiefgaande spanningssprong. Op dat moment gaat C zich over R ontladen, zodat de polariteit van de spanning op B verandert. Dit spanningsverloop is getekend in afb. 4-4b.

In het tweede geval springt de spanning op B tijdens de positieve flank van de impuls van 0 naar +U. Daarna neemt deze spanning snel af. Op het moment dat de negatieve flank van de impuls verschijnt, is de spanning op B allang weer 0. De spanning op B wordt nu negatief en stijgt dan weer snel naar 0. Dit verloop is getekend in afb. 4-4c. Iedere impuls heeft dus een positieve én een negatieve spanningspiek ten gevolge, tenminste als de flanken van de impuls steil genoeg zijn.

De negatieve piek is soms wel eens lastig. Willen we die niet in onze schakeling hebben, dan sluiten we een diode aan, zoals in afb. 4-3 gestippeld is getekent. Voor de positieve piek staat deze diode in sperrichting, maar de negatieve wordt doorgelaten. Zodoende kan de negatieve piek nooit groter worden dan ca. 0,6 V.

Indeling van de contactrails

Er zijn diverse methodes om signalen van de rijdende trein te krijgen. Voor het gemak verdelen we deze in vier groepen, nl.:

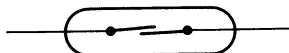
1. Mechanische contacten.
2. Magnetische contacten.
3. Foto-elektrische contacten.
4. Elektronische contacten.

4.2. Mechanische contacten

Over deze groep kunnen we vrij kort zijn. Hiertoe behoren vrijwel alle contactrails die door de fabrikanten van modelspoorbanen op de markt worden gebracht. Ze bestaan vrijwel steeds uit een tussen of naast de rails aangebrachte contactstrip en een contactpen of sleepcontact onderaan de loc. Bij het passeren verbindt het sleepcontact de strip met een van de rails. Dit houdt dus in dat de amplitude van het signaal afhankelijk is van de snelheid van de trein. Dat kan in een beveiligingsschakeling wel eens problemen geven.
Een ander bezwaar van deze contacten is dat ze nogal kwetsbaar zijn. Vooral bij het, vaak o zo nodige, schoonmaken van de rails wordt de strip erg gemakkelijk verbogen met het gevolg dat het contact niet meer functioneert of kortsluiting veroorzaakt.
De contacten zijn meestal ook niet universeel, zodat we ook niet meer vrij zijn in de keuze van locomotieven. Als voordeel moeten we noemen, dat ze redelijk goedkoop zijn, in ieder geval goedkoper dan de hierna te behandelen railcontacten.
Maar iedereen die echt betrouwbare beveiligingsschakelingen op zijn baan wil hebben, kan toch beter een van de andere methodes van signalering toepassen.

4.3. Magnetische contacten

Hierbij gebruiken we de zgn. reed-schakelaars, ook wel glas-schakelaars genoemd. Een reed-schakelaar bestaat uit twee verende contacttongen van een materiaal dat gemakkelijk gemagnetiseerd kan worden, bijv. nikkel-ijzer. Elke tong heeft aan het uiteinde een contactvlak bedekt met goud of zilver. Deze contactvlakken raken elkaar niet.
Het geheel is ondergebracht in een hermetisch gesloten glazen buisje (zie afb. 4-5). Ter voorkoming van oxydatie is dit buisje gevuld met zuivere stikstof. Wordt er nu een magneet dicht bij de schakelaar gehouden, dan worden de tongen gemagnetiseerd.



Afb. 4-5. „Reed"-schakelaar.

De ene zal een noord- en de andere een zuidpool vormen. Deze trekken elkaar aan met het gevolg dat het contact sluit. Trekken we de magneet weg, dan is het magnetisme in de tongen snel verdwenen en door de veerkracht hiervan laten de contacten weer los.
Als schakelcontact op de modelspoorbaan zijn reed-schakelaars erg geschikt. We monteren ze daartoe tussen de rails. Onderaan de loc komt dan een klein, maar wel sterk magneetje. Bij het passeren zal de reed-schakelaar sluiten en zodoende een signaal opwekken.

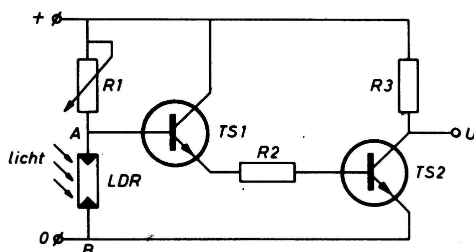
Het voordeel is dat dit signaal helemaal los is van de rijspanning. Hoewel deze methode over het algemeen goed voldoet, kleven er toch nog wel een paar bezwaren aan.
In de eerste plaats de prijs. De reed-schakelaars zijn vrij duur. Ze zijn meestal ook niet in staat grote stromen te schakelen, zodat we er toch nog vaak een relais of transistor achter moeten plaatsen. Ten tweede de afmetingen. Die zijn nogal fors. Voor een HO-baan zijn ze eigenlijk al te groot, zodat ze moeilijk weg te moffelen zijn. Op een baan op schaal N zijn ze vrijwel niet toe te passen.

4.4. Foto-elektrische contacten

Zoals de naam al aangeeft, werken deze contacten met licht. Als opneemelement gebruiken we de lichtgevoelige weerstand of LDR (zie blz. 27). Het passeren van een trein kunnen we nu detecteren door langs de rails aan de ene kant een lampje en aan de andere kant een LDR te monteren. De LDR wordt dan opgenomen in een schakeling zoals weergegeven in afb. 4-6. Zolang er voldoende licht op de LDR valt, is de weerstand ervan zo klein, dat TS1 gesperd is. Daardoor staat ook TS2 afgeknepen en de uitgang U is + 12 V.

ONDERDELENLIJST

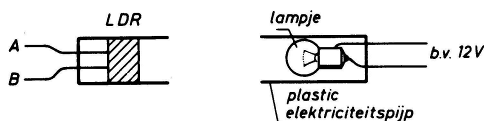
R1	10 kΩ (instelpotmeter)
R2	560 Ω
R3	2200 Ω
TS1	BC 107b
TS2	BC 107b



Afb. 4-6. LDR-versterker.

Passeert er nu een trein dan wordt de lichtstraal even onderbroken. De weerstand van de LDR wordt opeens veel groter zodat TS1 stroom kan gaan trekken. Ook TS2 komt daardoor in geleiding en punt U gaat van + naar 0 V. Zodra de trein voorbij is, gaan de transistoren weer dicht en punt U gaat weer naar + 12 V.
Op deze wijze krijgen we dus een negatiefgaande impuls.
We moeten het lampje en de LDR natuurlijk een beetje verdekt opstellen. Heel geschikt voor dit doel is gewoon plastic elektriciteitspijp. We nemen hiervan twee stukjes van ongeveer 4 cm. In het ene kokertje monteren we de LDR. De binnenkant van het buisje maken we zwart. Op deze wijze wordt ook de invloed van het omgevingslicht verminderd. In het andere kokertje monteren we het lampje. Het meest geschikt hiervoor is een zgn. lenslampje. De twee buisjes plaatsen we aan weerskanten van de rails op een hoogte van ca. 3 cm. We richten ze zodanig, dat de lichtstraal precies op het midden van de LDR valt. Met

R1 stellen we de schakeling nu zó in, dat uitgang + 12 V is. Houden we nu onze hand in de lichtstraal dan moet de uitgang direct naar 0 V gaan. We controleren de hele zaak nog even bij andere lichtomstandigheden. Het kan dan voorkomen, dat R1 nog iets bijgeregeld dient te worden.



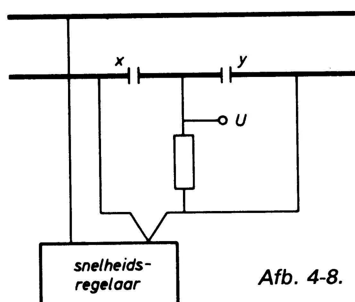
Afb. 4-7. Opstelling van het lampje en de LDR.

Het is jammer, dat we op deze manier wel een hele stellage langs de rails krijgen, zodat deze wijze van signalering op de open baan minder geschikt is. Maar in een tunnel is deze methode uitstekend bruikbaar, temeer omdat we daar ook geen last hebben van het omgevingslicht. Willen we met de schakeling van afb. 4-6 rechtstreeks een wissel of iets dergelijks schakelen, dan vervangen we R1 door een relais voor 12 V bijv. een Siemens-printrelais V23012. Met de contacten van dit relais kunnen we dan alle kanten uit.

4.5. Elektronische contacten

Algemeen principe

De elektronische contacten bieden verreweg de meeste perspectieven. Het is bij deze contacten nooit nodig zo'n hele poespas langs of tussen de rails te monteren. Een stukje geïsoleerde railstaaf is voldoende. In afb. 4-8 is het principe getekend.



Afb. 4-8.

In een van de railstaven maken we een geïsoleerd stuk x-y. Dit railstuk verbinden we via weerstand R met de 0 van de snelheidsregelaar. Zolang de baan verlaten is, zal de spanning op U dus 0 V zijn, omdat er geen stroom door R gaat.

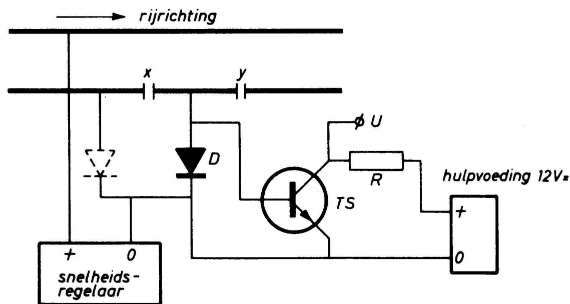
Komt er nu een locomotief op x-y dan gaat de stroom voor de motor door **R**. Over deze weerstand ontstaat nu een spanningsval, zodat punt U positief wordt. Hoe groot het signaal op punt U wordt, is afhankelijk van de rijspanning en de waarde van R.
Er is één ding waar we goed op moeten letten. Bij de meeste locomotieven wordt de stroom voor de motor afgenomen van diverse assen. Zou dit niet gebeuren dan zou de loc bij langzaam rijden op elke wissel blijven steken.
Het puntstuk van de meeste wissels is namelijk stroomloos om kortsluiting te voorkomen. Komt nu dat ene stroomafnemende wiel op dat puntstuk en heeft de loc maar weinig vaart, dan blijft hij gemakkelijk steken. Maar doordat de motor verbonden is met meer wielen is de stroomtoevoer steeds gewaarborgd.
Voor onze contacten houdt dat in, dat we moeten zorgen dat er een moment is, waarop *alle* stroomafnemende wielen van de loc *tegelijk* op het stuk x-y zijn, want alleen dán gaat de stroom door R. De *minimale* lengte van x-y is dus de afstand van de eerste tot de laatste stroomafnemende as van de *grootste* loc. Zodoende zijn we ervan verzekerd, dat iedere loc een betrouwbaar signaal afgeeft. Het enige wat we op de baan van het contact kunnen zien, is dat geïsoleerde stukje railstaaf en dat valt beslist niet op. De bijkomende onderdelen moffelen we ergens onder de baan weg.

Contactrails voor éénrichtingsverkeer met diode en transistor

Het bezwaar van de schakeling van afb. 4-8 is, dat zodra de loc op x-y is de snelheid even vermindert, vanwege de spanningsval over R. Hoewel die snelheidsvermindering niet zo groot is, is het toch niet elegant. In afb. 4-9 is daarom een betere oplossing weergegeven. De weerstand R is nu vervangen door een diode. Punt A is verbonden met de basis van TS1. Om helemáál onafhankelijk te zijn van de rijspanning is er nog een zgn. hulpvoeding toegevoegd.
De 0 van de hulpvoeding is verbonden met de 0 van de rijspanning. Zolang het railstuk x-y leeg is, zal punt A 0 V zijn. De transistor kan geen stroom trekken en de spanning op punt U is gelijk aan de hulpspanning, in het voorbeeld dus 12 V.

ONDERDELENLIJST

R	2200 Ω
TS	AC 127 (Ge-transistor)
D	1N4001 (Si-diode)



Afb. 4-9. Contactrails voor éénrichtingsverkeer met diode en transistor.

Komt er een loc op x-y, dan gaat de rijstroom van de + door de loc-motor en D1 weer naar de 0. Doordat er nu stroom door de diode gaat, ontstaat er een spanningsval. Op blz. 32 zagen we al dat de spanningsval over een diode vrijwel onafhankelijk is van de stroomdoorgang en wel ca. 0,6 V.
De spanning op de basis van TS1 wordt dus 0,6 V. TS1 komt in geleiding en de spanning op punt U gaat naar vrijwel 0 V.
Nu is de basis-emitterspanning van een transistor niet altijd hetzelfde. Nemen we voor TS1 een siliciumtype, dan lopen we de kans, dat de transistor niet helemaal opengaat, omdat de spanningsval over de diode nu vrijwel gelijk is aan de nodige basisspanning. Dat niet helemaal opengaan van TS1 resulteert dan in het niet 0 worden van de spanning op U. Die spanning blijft dan bijvoorbeeld steken op 6 V. Dat kan storingen opleveren in de verdere schakeling. Om die reden nemen we een germaniumtransistor voor TS1. De basis-emitterspanning van zo'n transistor is maar 0,3 V, zodat we er altijd zeker van kunnen zijn, dat de tor helemaal opengaat. De locomotief krijgt nu op x-y 0,6 V rijspanning minder dan op de rest van de baan.
De snelheidsvermindering die dit oplevert, zal gelukkig nauwelijks merkbaar zijn. We kunnen die kleine vermindering zelfs helemaal wegwerken, door ook de rails vóór en achter het railstuk x-y via een siliciumdiode met de snelheidsregelaar te verbinden, dan is die spanningsval overal gelijk.
De weerstand R in de collectorleiding van TS1 kunnen we vervangen door bijvoorbeeld een relais, zodat we dan rechtstreeks andere dingen als bijvoorbeeld een spoorwegovergang, kunnen schakelen.
Maar het relais trekt alleen maar aan, als de loc op x-y is. Er is echter niets op tegen om x-y veel langer dan de minimale lengte te maken, zodat het signaal ook veel langer aanwezig blijft. Het ligt er dus maar helemaal aan, wat we met dat signaal willen gaan doen. We zullen nog wel een aantal toepassingsvoorbeelden tegenkomen.

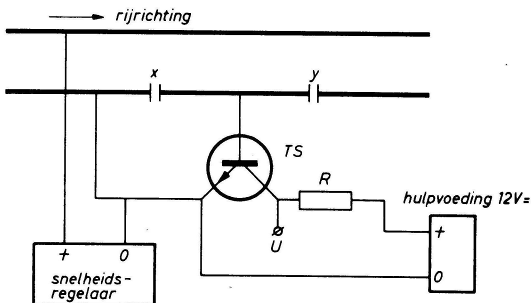
Eénrichtingscontact met één transistor

We kunnen de schakeling van afb. 4-9 nog meer vereenvoudigen. In afb. 4-10 is deze, wel héél eenvoudige, schakeling weergegeven. We weten dat de basis-emitterovergang van een transistor in feite een diode is. Vloeit er stroom door deze diode dan kan er ook een stroom van de collector naar de emitter gaan. Van deze eigenschap maken we bij dit type railcontact een dankbaar gebruik. Ook bij deze schakeling hebben we weer een hulpvoeding nodig.
De basis van TS1 is verbonden met het geïsoleerde railstuk. De emitter wordt aangesloten op de 0 van de rijspanning. Hiermee is ook de 0 van de hulpvoeding verbonden.
Zolang er nog geen loc op x-y is, gaat er dus ook geen stroom door de basis-emitterdiode van TS1. De basis hangt eigenlijk gewoon los. Er kan dus ook geen stroom van de + van de hulpvoeding door R gaan. Komt de loc nu echter op

x-y dan gaat de stroom van de + van de snelheidsregelaar via de loc-motor, door de basis-emitterdiode van TS1 weer naar 0. De transistor voert dus basisstroom. Daardoor is ook de collector-emitterovergang geleidend en gaat er stroom door R. De spanning op punt U gaat nu van + 12 V naar 0 V.
In deze schakeling doet zich iets vreemds voor. De basisstroom is veel groter dan de collectorstroom omdat de loc-motor veel meer stroom verbruikt dan er door de weerstand R kan gaan.

ONDERDELENLIJST

R 2200 Ω
TS 2N3055



Afb. 4-10. Contactrails voor éénrichtingsverkeer met enkele transistor.

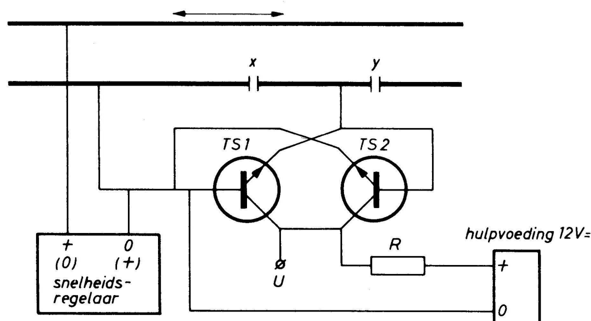
Die basisstroom kan wel 1 A worden. Vandaar dat we voor TS1 dan ook een powertransistor moeten gebruiken. De 2N3055, die wel „het werkpaard van de elektronica" wordt genoemd, kan een basisstroom verdragen van zo'n 4 A dus hebben we bij gebruik van deze transistor speling genoeg. De collectorstroom is dan maar een fractie van wat deze transistor normaal te verwerken krijgt, maar dat verandert niets aan de principiële werking.
Ook in deze schakeling kunnen we R weer vervangen door een relais of lampje. In principe kunnen we in deze leiding een belasting opnemen, die 10 A verbruikt. Het zal duidelijk zijn, dat dit type railcontact alleen maar werkt met de aangegeven polariteit van de rijspanning. Polen we deze spanning om, dat staat de basis-emitterdiode van TS1 in sperrichting en krijgt de loc-motor geen stroom. We kunnen bij dit contact dus alleen werken met éénrichtingsverkeer.

De DTD (Duo-Tor-Detektor)

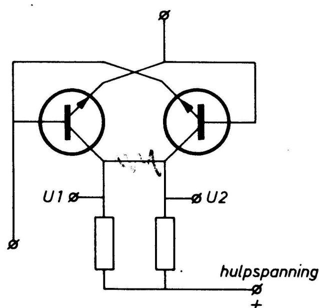
Door de schakeling van afb. 4-10 dubbel uit te voeren, krijgen we een railcontact, dat werkzaam is in beide rijrichtingen. We hebben hiervoor dan ook twee powertransistoren nodig, vandaar de naam Duo-Tor-Detektor, afgekort tot DTD. Het schema van deze DTD is weergegeven in afb. 4-11.

De collectoren van de twee transistoren zijn met elkaar doorverbonden, terwijl de bases en emitters kruiselings verbonden zijn. Eerst gaan we de werking van het contact na, als de linkerklem van de snelheidsregelaar de + is. Zonder loc

op x-y gebeurt er weer niets. Beide transistoren staan gesperd. De spanning op de uitgang U is + 12 V (de hulpspanning).
Arriveert er nu een loc op x-y, dan gaat de stroom van de + van de regelaar door de loc-motor en komt dan op de basis van TS2 en de emitter van TS1. De basis-emitterdiode van TS1 staat nu dus in sperrichting.



Afb. 4-11. De DTD.



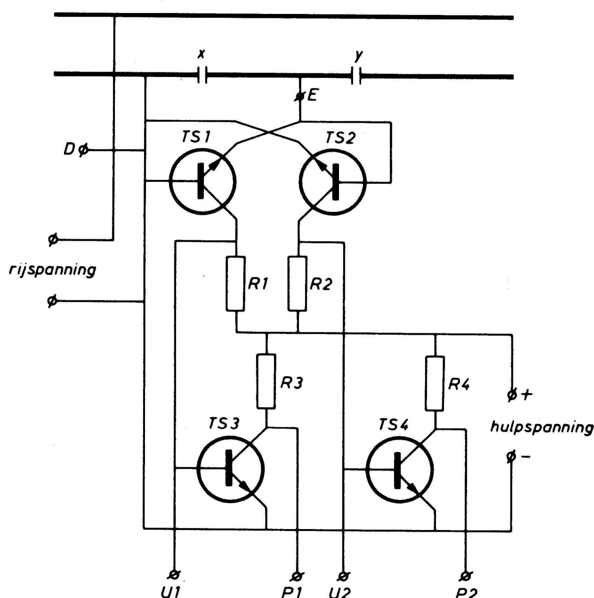
Afb. 4-12. DTD met signalering van rijrichting.

Maar de overgang van TS2 geleidt en de stroomkring is gesloten. Dit noemen we de hoofdstroom of de primaire stroom.
Aangezien TS2 geleidt, is ook de secundaire stroomkring gesloten. Deze loopt van de + van de hulpvoeding door R en vervolgens door de collector-emitter-overgang van TS2 weer naar de 0. De spanning op punt U zal nu naar vrijwel 0 V gaan.
Polen we de snelheidsregelaar om dan zal de primaire stroom van de rechterklem (die is + geworden) door de basis-emitterdiode van TS1 en door de loc-motor naar de 0 lopen. TS1 is in geleiding en TS2 is dicht. Ook nu krijgt de loc-motor normaal rijstroom. De secundaire keten is door TS1 gesloten, al is deze keten iets ingewikkelder dan in het eerste geval. Maar het gevolg is weer hetzelfde. De spanning op U gaat weer naar vrijwel 0 V.

De DTD geeft dus altijd een signaal af, ongeacht de polariteit van de rijspanning. Dit signaal zegt helemaal niets over de richting waarin de trein rijdt en dat hebben we soms juist nodig.
De oplossing is heel eenvoudig (zie afb. 4-12). De collectoren van de powertransistoren krijgen ieder een aparte weerstand naar de + van de hulpspanning. Daardoor krijgen we twee uitgangen: U_1 en U_2. Afhankelijk van welke transistor in geleiding komt, verschijnt het signaal op U_1 of U_2. Met het spanningsniveau op U_1 en U_2 kunnen we nu zien of er een trein op het railstuk x-y is én in welke richting hij zich beweegt.
De signalen op U_1 en U_2 zijn negatiefgaand. In rust (geen trein op x-y) zijn beide uitgangen + 12 V. Afhankelijk van de rijrichting gaat bij het passeren van een trein óf U_1 óf U_2 naar 0 V. De andere uitgang blijft dan gewoon 12 V.
Soms hebben we in een beveiligingsschakeling juist een positiefgaand signaal nodig. Om zo'n signaal te krijgen, moeten we de schakeling van afb. 4-12 nóg iets verder uitbreiden (zie afb. 4-13).

ONDERDELENLIJST

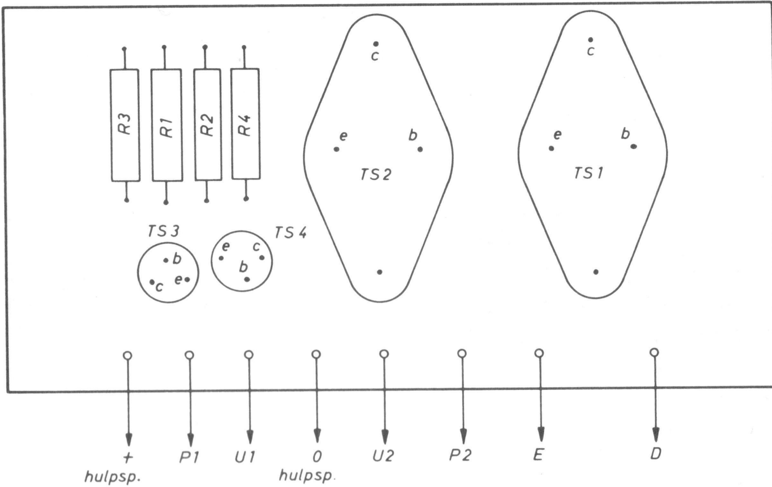
R1, R2, R3, R4	2200 Ω/½ W
TS1	2N3055
TS2	2N3055
TS3	BC 107
TS4	BC 107



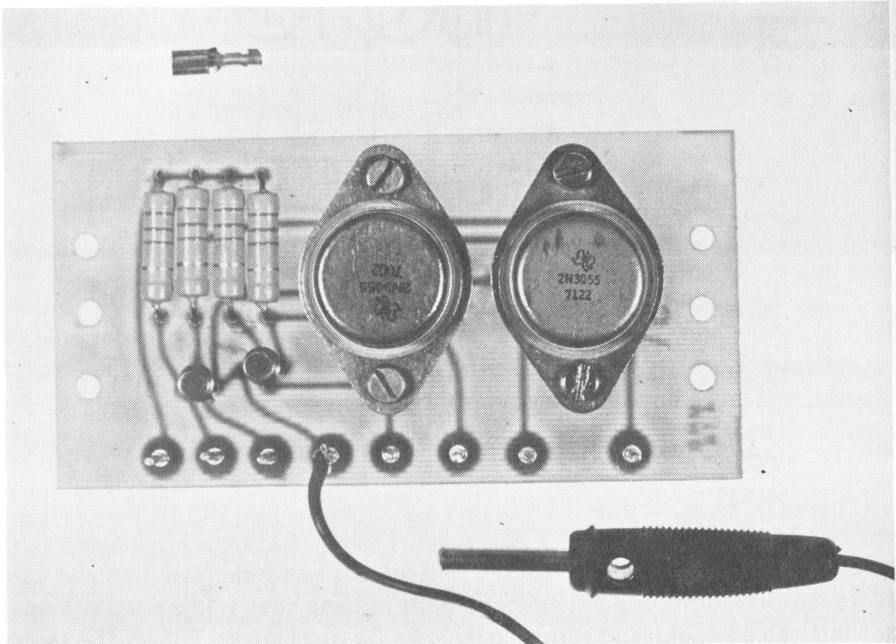
Afb. 4-13. DTD voor zowel negatief- als positiefgaande signalen.

De punten U_1 en U_2 worden verbonden met de bases van TS3 en TS4. Aangezien deze punten in rust + 12 V zijn, zullen TS3 en TS4 beide in geleiding zijn. De uitgangen P_1 en P_2 zijn in rust 0 V. Passeert er een trein, dan gaat een van de transistoren dicht, zodat de bijbehorende uitgang naar + 12 V gaat. We hebben dus een positiefgaand signaal gekregen. De transistoren TS3 en TS4 keren het signaal dus alleen maar om. Inverteren noemen we dat.

Van de schakeling volgens afb. 4-13 is weer een printontwerp opgenomen (zie afb. 4-15). Zowel de punten U_1 en U_2, als P_1 en P_2 zijn bereikbaar, zodat we met dit printje alle kanten uit kunnen. Meer details over de print zijn in hoofdstuk 9 gegeven.



Afb. 4-14. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 4-13 (zie ook blz. 170).



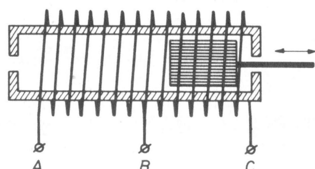
Afb. 4-15. De DTD. Printontwerp 4.14. Duidelijk is de functie van de printpennen IP-2 zichtbaar. Bovenaan ligt een opschuifcontact BB-11 dat aan de draad gesoldeerd dient te worden.

5. Wissels

5.1. Principe en elektrische eigenschappen

Net als in het grootbedrijf, vormt de wissel een zeer belangrijk onderdeel van de modelbaan. Wissels zijn er in allerlei soorten en maten. Zo kennen we linkse en rechtse wissels, meegebogen wissels, drieweg-wissels, dubbele kruiswissels enz.

We gaan ons hier niet bezig houden met al die verschillende soorten. De bediening van een wissel kan op twee manieren geschieden nl.: met de hand of elektrisch. We zullen alleen de elektrische wissels onder de loep nemen. Al deze wissels hebben één ding gemeen, de spoel. Op de een of andere manier moeten we de wissel kunnen omzetten en dan nog liefst op afstand. Dat is dan de taak van de wisselspoel. Die zet de elektrische energie die we aan de wissel toevoeren om in de gewenste beweging. In afb. 5-1 is het principe van zo'n wisselspoel getekend.

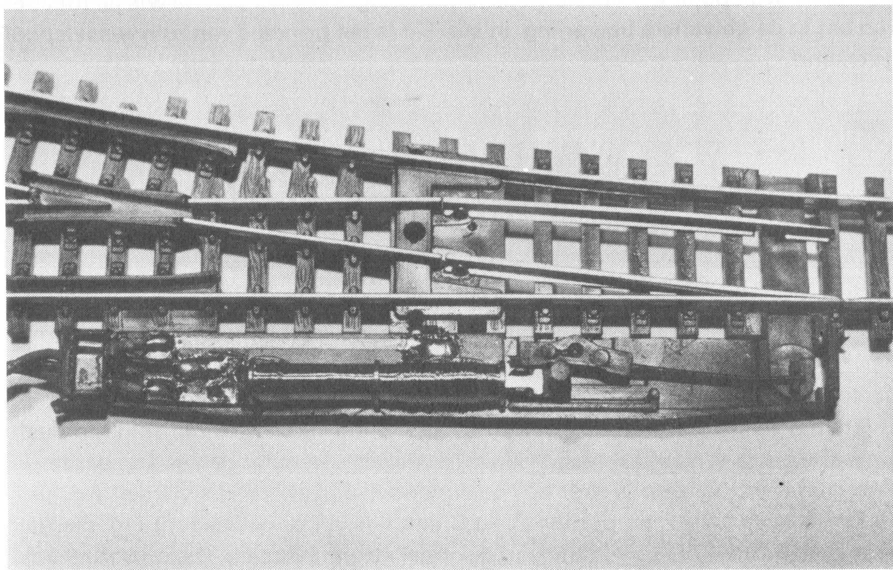


Afb. 5-1. Principe van de elektromagnetische wissel.

De spoel bestaat uit een kokertje van isolatiemateriaal (meestal gelakt papier of iets dergelijks) met daarop een draadwikkeling. Precies in het midden heeft deze wikkeling een aftakking. Binnenin het kokertje bevindt zich een weekijzeren staafje, dat verbonden is met het bewegende railstuk van de wissel (het juk). Sluiten we nu tussen de punten A en B een wissel- óf gelijkspanning aan dan gaat er door het linker gedeelte van de spoel stroom vloeien. Deze stroom wekt binnenin het kokertje een magnetisch veld op.

Het ijzeren staafje wordt door dit veld aangetrokken en beweegt zich naar links. Het wordt als het ware in de linker spoelhelft „gezogen". Via het juk zal de wissel nu dus in de andere stand gekomen zijn. Zetten we de spanning op de punten

B en C, dan schiet het staafje weer naar rechts. Op deze wijze kunnen we de wissel dus steeds in de gewenste stand brengen.
De wissels die we in de winkel kunnen kopen, zijn vaak ware kunstwerken. Maar hoe mooi die uitvoering ook is, ze hebben meestal één heel zwak punt, namelijk de spoel.
Om het ijzeren staafje betrouwbaar heen en weer te laten schuiven, moet het magnetische veld in het kokertje erg sterk zijn. De wisseltongen ondervinden namelijk nogal wat wrijving. We kunnen op twee manieren zorgen voor een sterk magnetisch veld.
De eerste methode is: zoveel mogelijk windingen op de spoel aanbrengen. Aangezien echter de ruimte voor de spoel maar heel beperkt is, levert dat meestal onoverkomelijke moeilijkheden op. Een wissel met grote spoelen naast de rails is nu niet bepaald een fraai gezicht. De tweede mogelijkheid is: de stroom door de spoel zo groot mogelijk maken. De weerstand van de spoel moet dus laag zijn. Dat betekent weinig windingen dik draad. Deze methode wordt in de fabriekswissels bijna altijd toegepast en dat bezorgt ons nu juist grote problemen.
De stroom door de wikkeling is zó groot, dat de spoel erg heet wordt als we de stroom te lang laten gaan. Het gevolg kan zelfs zijn dat de spoel doorbrandt. Er zijn enkele uitvoeringen in de handel die tegen dit euvel beveiligd zijn. Aan



Afb. 5-2. Elektromagnetische wissel. Op de voorgrond is duidelijk de wisselspoel zichtbaar. Het ijzeren staafje is helemaal naar links getrokken, waardoor de wissel op „krom" staat.

het juk zijn dan een aantal schuifcontacten aangebracht, die de stroom door de spoelhelft uitschakelen als het staafje zijn eindstand heeft bereikt. Doorbranden is er bij deze wissels niet bij. Jammer genoeg hebben de meeste wissels die normaal in de winkel te koop zijn deze beveiliging niet, zodat we er steeds voor moeten zorgen, dat de spoel slechts een korte stroomstoot krijgt.
Door gebruik te maken van terugverende drukschakelaars is dit wel te doen, tenminste bij wissels die we alleen met de hand vanaf het bedieningspaneel omzetten.
Moet een wissel automatisch omklappen (door een railcontact of iets dergelijks) dan wordt het moeilijker. In de eerste plaats is de stroom die het railcontact dan moet schakelen erg groot, zodat dat contact snel „inbrandt". Daarnaast blijft het gevaar voor doorbranden toch nog bestaan. Blijft de loc namelijk, om de een of andere reden, precies op het railcontact stilstaan, dan wordt de spoel overbelast en brandt door.
In dit hoofdstuk gaan we nu een aantal schakelingen bespreken, waarmee we dit probleem kunnen oplossen. Een wisselspoel kan altijd zonder meer zowel met gelijk- als met wisselstroom worden gevoed en omdat we steeds met transistoren werken, schakelen we de wissels ook steeds met gelijkstroom.

5.2. Het veilig schakelen van laagohmige wissels

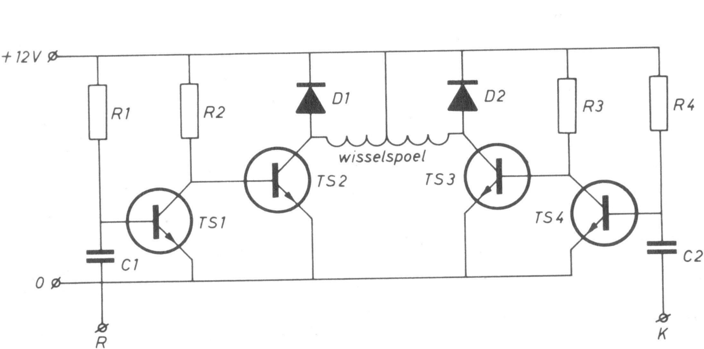
Algemene opzet

Het schakelen van een wissel komt in feite neer op het geven van een korte stroomstoot of impuls. De breedte van de impuls moet zodanig zijn, dat de wissel helemaal omgaat, maar de spoel nog niet heet kan worden. Ook moeten we ervoor zorgen, dat er steeds maar één impuls wordt opgewekt, ook al blijft de loc onverhoopt op het railcontact steken.
Voor de meeste wissels is een impulsbreedte van ca. 0,5 s voldoende om betrouwbaar om te gaan. De spoel wordt dan nog niet overmatig warm. Alleen bij snel achter elkaar schakelen, wordt de spoel heet, maar dat gebeurt op een modelbaan meestal niet.

Wisselbekrachtigingsschakeling met transistoren

In afb. 5-3 zien we het schema van een heel bruikbare wisselbekrachtigingsschakeling. In het midden is de wisselspoel afgebeeld. De middenaftakking van deze spoel is rechtstreeks verbonden met de + 12 V.
Zowel de linker- als de rechterspoelhelft wordt gestuurd door een impulsvormer bestaande uit twee transistoren. Aangezien de werking van die impulsvormers precies hetzelfde is, bespreken we nu alleen het linker gedeelte van het schema. Alles wat we daarover zeggen, is dus ook van toepassing op de rechterhelft.
Transistor TS1 kan via R2 basisstroom trekken en is dus volledig in geleiding.

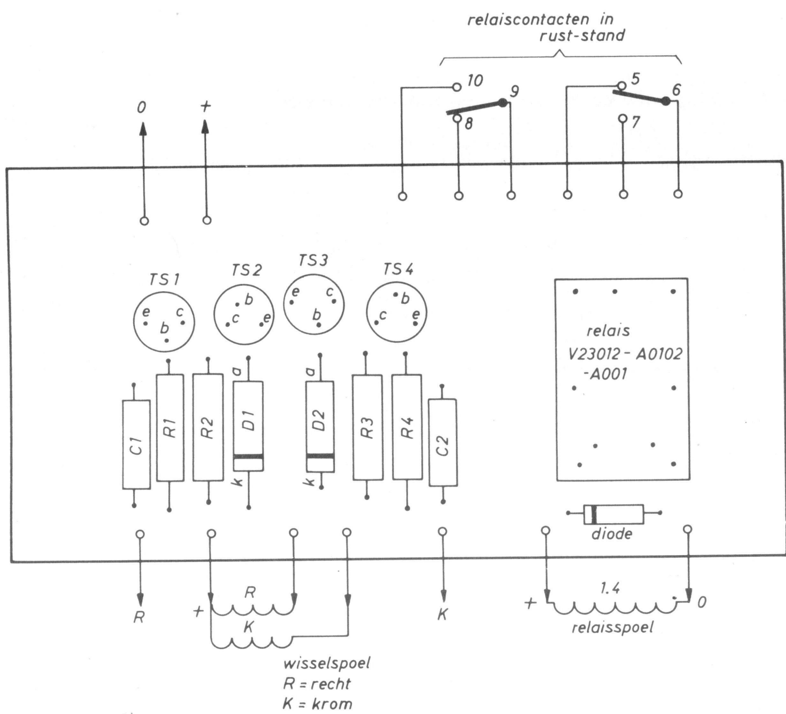
De spanning op zijn collector is dus vrijwel 0 V. TS2 staat dicht en er kan geen stroom door de linkerhelft van de spoel.



ONDERDELENLIJST

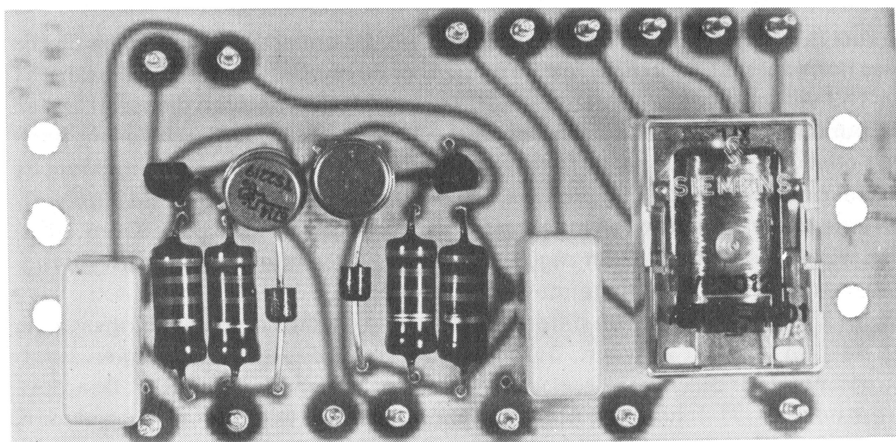
C1	1 μF
C2	1 μF
R1	33 kΩ
R2	2200 Ω
R3	2200 Ω
R4	33 kΩ
TS1	BC 107
TS2	2N2219
TS3	2N2219
TS4	BC 107
D1	1N4001
D2	1N4001

Afb. 5-3. Wisselbekrachtigingsschakeling met transistoren.



Afb. 5-4. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 5-3 (zie ook blz. 170).

R1 en C1 vormen samen een differentiërend netwerk (zie par. 4.1). In rust wordt de ingang door bijv. de DTD op 12 V gehouden. Geeft de DTD nu een impuls af, dan wordt de basis van TS1, door de negatiefgaande flank van de impuls naar 0 getrokken. TS1 gaat sperren. Nu kan TS2 basisstroom trekken en er gaat een grote stroom door de wisselspoel. Die stroom kan wel oplopen tot 1 A omdat de weerstand van een spoelhelft maar ongeveer 12 Ω is.
Als alles nu zo zou blijven, zou de spoel gegarandeerd doorbranden. Maar het differentiërend netwerk herstelt zich en weldra zal TS1 weer in geleiding komen, waardoor TS2 wordt dichtgezet en de stroom door de spoel wegvalt.
De tijd dat de spoel stroom krijgt, wordt bepaald door R1 en C1. Ook al duurt het signaal erg lang de spoel krijgt toch maar een korte stroomstoot. D1 werkt de spanningspiek weg, die door het dichtgaan van TS2 in de wisselspoel wordt opgewekt.
Voor alle zekerheid kunnen we in de middenaftakking nog een smeltveiligheid of zekering van ca. 1 A opnemen. Mocht er in de schakeling dan iets verkeerd gaan, dan sparen we in ieder geval onze kostbare wissel. Afb. 5-4 toont het printontwerp van deze schakeling.

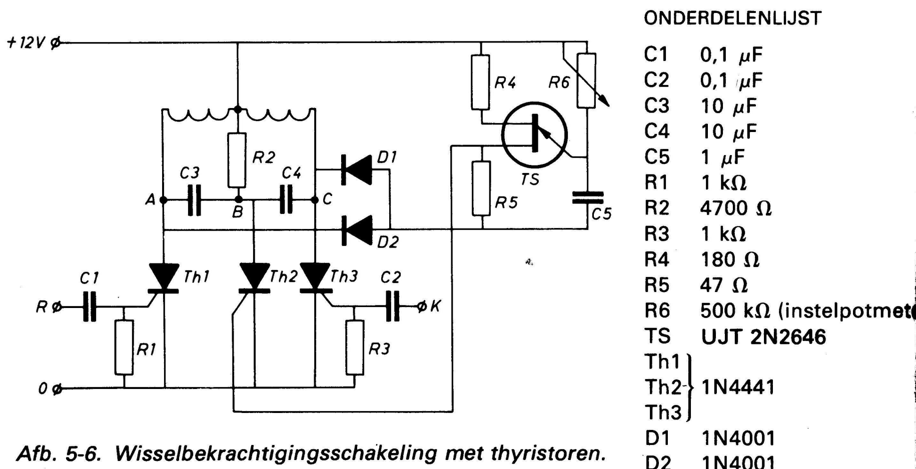


Afb. 5-5. Wisselbekrachtigingsschakeling. Printontwerp 5.4. Het relais (rechts heeft niets met de bekrachtigingsschakeling te maken. Aangezien er nog wat ruimte op het printje over was, kon dit relais hierop mooi een plaatsje vinden. Een relais is „nooit weg".

Wisselbekrachtigingsschakeling met thyristoren

Ook met thyristoren kunnen we een schakeling bouwen waarmee we een wissel soepel kunnen schakelen. Alleen is deze schakeling wel wat ingewikkelder en daardoor ook duurder in uitvoering dan de voorgaande. In afb. 5-6 is het schema getekend.

De middenaftakking van de wisselspoel is weer rechtstreeks verbonden met de +. In het rechtergedeelte van het schema herkennen we de UJT-schakeling van afb. 3-14.



ONDERDELENLIJST

C1	0,1 µF
C2	0,1 µF
C3	10 µF
C4	10 µF
C5	1 µF
R1	1 kΩ
R2	4700 Ω
R3	1 kΩ
R4	180 Ω
R5	47 Ω
R6	500 kΩ (instelpotmet
TS	UJT 2N2646
Th1, Th2, Th3	1N4441
D1	1N4001
D2	1N4001

Afb. 5-6. Wisselbekrachtigingsschakeling met thyristoren.

In rust is geen van de thyristoren in geleiding. De onderzijden van R5 en C5 zijn niet normaal met de 0 maar via D1 en D2 met de anodes van de thyristoren Th1 en Th3 verbonden (de punten A en C). Zolang deze thyristoren dicht zijn, zullen de punten A en C op een spanning van +12 V staan. De UJT-schakeling heeft dus geen spanning en zal dus niet zijn gebruikelijke impulsen afgeven. Moet de wissel omschakelen, dan geven we een positiefgaande impuls op de ingang R. De letters R en K bij de twee ingangen zijn afkortingen van Recht en Krom. Staat een wissel recht, dan wil dat zeggen, dat de trein rechtdoor gaat. Krom wil zeggen, dat de trein het afbuigende spoor zal volgen.

C1 en R1 vormen weer een differentiator, zodat de positieve spanningssprong op de gate van Th1 arriveert. Deze komt daardoor direct in geleiding en stuurt de stroom door de linker wisselspoel. Punt A gaat nu naar vrijwel 0 V. Daardoor krijgt ook de UJT-schakeling normaal spanning en kan C5 zich via R6 gaan laden. Na de met R6 in te stellen tijd geeft de schakeling een positieve impuls af die op de gate van Th2 terechtkomt. Th2 gaat geleiden. Ook punt B gaat nu van +12 V naar 0 V.

Deze negatiefgaande spanningsverandering bereikt via C3 de anode van Th1. Daardoor komt de stroom door deze thyristor beneden zijn „houdwaarde" en Th1 gaat dicht. De stroom door de spoel is nu uitgeschakeld. Ook Th2 gaat vrijwel direct daarna weer dicht. R2 heeft zo'n hoge waarde, dat de stroom door deze weerstand niet voldoende is om hem in geleiding te houden. Nu is punt A weer op 12 V gekomen en de UJT-schakeling is weer verstoken van spanning. De gehele schakeling is weer in rust.

Moet de wissel in de andere stand gebracht worden, dan geven we een positie-

ve impuls op ingang K. Th3 komt in geleiding en de stroom kan door de rechterspoelhelft. Doordat punt C 0 V geworden is, komt ook de UJT-schakeling weer in actie en geeft na enige tijd een impuls op de gate van Th2. Deze gaat open en drukt daardoor Th3 weer dicht. Daarna dooft ook Th2 weer en de uitgangstoestand is weer bereikt.
R6 moet zó worden ingesteld, dat alle wissels betrouwbaar schakelen, zonder dat ze daarbij te warm worden.

6. Beveiliging

6.1. Beveiligen – wat en waartegen?

In het dagelijkse leven wordt tegenwoordig steeds meer aan beveiligen gedaan. Fabrieken worden beveiligd tegen brand, een bank tegen beroving. We kunnen onze auto tegen diefstal en ons huis tegen inbraak beveiligen, enz. Er zijn legio voorbeelden op te noemen.
Maar hoever we al deze beveiligingen ook perfectioneren, helemaal afdoende zijn ze helaas bijna nooit. Zo gaat het ook op de modelbaan.
Al hoeven we onze baan niet tegen de bovengenoemde gevaren te beveiligen, er blijft toch nog meer dan genoeg over. Het is ondoenlijk om in het bestek van dit boek voor alle voorkomende gevallen een passende beveiligingsschakeling te geven. We volstaan dan ook met een paar voorbeelden. Het is dan de bedoeling, dat met o.a. de in dit boek voorkomende schakelingen, ieder zijn eigen baan gaat beveiligen tegen wat hij maar wil. De situaties zijn toch nooit gelijk op de verschillende banen.
We vragen ons altijd eerst af: Wát willen we beveiligen?
We onderscheiden dan twee hoofdgroepen:

1. Beveiliging van de elektrische en elektronische apparatuur.
2. Beveiliging van de baan zelf.

De tweede vraag die we onszelf daarna moeten stellen is: Waartégen gaan we deze dingen beveiligen?
Het antwoord voor groep 1 is dan: Tegen schade door fouten van onszelf of ongewilde situaties op de baan.
En voor groep 2: Tegen ongelukken, botsingen, ontsporingen enz. van de trein.
Het grootste gevaar, dat onze kostbare elektronische apparatuur bedreigt is *overbelasting* of *kortsluiting*. Gelukkig kunnen we daar vrij afdoend tegen beveiligen. De methodes daarvoor worden besproken in par. 6.2.
Groep 2 geeft meer hoofdbrekens. Er kan zo ontzettend veel mis gaan op een spoorbaan. Een verkeerde wisselstand kan de grootste brokken veroorzaken. Een losgeraakte wagon kan een hele hele trein laten ontsporen, enz. Vooral voor deze groep zal blijken, dat een waterdicht systeem vrijwel niet te verwezenlijken is. De „machinist" zal zelf altijd nog erg goed moeten uitkijken. Aan de hand van een tweetal veel voorkomende situaties zullen we nagaan hoe we bij het ontwerpen van een beveiligingsschakeling te werk moeten gaan.
Iedereen kan dan zelf verder een bepaald gevaarlijk punt op zijn baan onder de

loep nemen en trachten daar een passende beveiligingsschakeling voor te ontwerpen.

6.2. Kortsluiting

Het gevaar van kortsluiting

Zoals gezegd, is kortsluiting het grootste gevaar dat onze apparatuur bedreigt en deze storing komt op een modelbaan nogal eens voor. Een wagon of locomotief, die uit de rails loopt, kan gemakkelijk kortsluiting veroorzaken. Trouwens, wijzelf ook. Eén verkeerde draadverbinding en het is zover. Een achteloos op de rails achtergelaten tangetje veroorzaakt direct kortsluiting bij het in bedrijf stellen van de baan.
Kortsluiting ontstaat wanneer we de uitgangsklemmen van bijvoorbeeld een voeding of snelheidsregelaar met elkaar verbinden, zónder of via een heel kleine weerstand. De stroom die dan geleverd moet worden, wordt dan enorm groot en vaak is een fikse rookwolk het gevolg. Vooral transistoren zijn erg gevoelig voor dit soort mishandeling. De maximale dissipatie wordt overschreden met het gevolg dat het tere inwendige wegbrandt.
Meestal gebeurt dit zó snel, dat we aan de buitenkant niet eens kunnen voelen dat de transistor warm geworden is. Wanneer er ergens in een schakeling op deze manier een transistor is gesneuveld dan is het opsporen van de fout vaak erg moeilijk. Aan de buitenkant zien we immers niets aan de transistor. Ook kan er bij een kortsluiting een weerstand overbelast worden. Deze wordt dan gloeiend heet en begint te stinken. Grijpen we niet snel in, dan brandt hij door. Een doorgebrande weerstand is gelukkig meestal snel te vinden in de schakeling.
Bij een langdurige kortsluiting loopt ook de voedingstransformator gevaar. De wikkelingen worden dan zó heet, dat de isolerende laklaag van het wikkeldraad wegbrandt en de windingen onderling sluiting krijgen.

De zekering

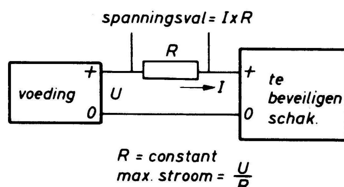
De eenvoudigste methode om tegen kortsluiting te beveiligen, is het gebruik van een smeltveiligheid of zekering. Deze methode wordt ook toegepast door de elektriciteitsmaatschappijen om een grote kortsluiting in het gewone net op te heffen. Ieder huis is daartoe voorzien van een aantal smeltveiligheden. Maakt bijvoorbeeld de wasmachine sluiting, dan „springt de stop" zoals dat in de volksmond heet.
Een zekering bestaat uit een glazen of stenen buisje met daarin een dunne zilverdraad. De dikte van die zilverdraad is zó gekozen, dat hij bij een bepaalde stroomdoorgang doorsmelt.
In het lichtnet gebruiken we „stoppen" van 10 of 16 A. Voor de spoorbaan zijn

die waarden natuurlijk veel te hoog. Daarvoor moeten we dan ook de kleine glazen zekeringen hebben van 0,1 tot 2 A. We kennen twee soorten zekeringen, de zgn. „snelle" en „trage".
Een trage zekering kan een zekere tijd een stroom voeren die groter is dan de waarde die erop staat aangegeven. Duurt die overbelasting echter te lang, dan smelt hij door. De snelle zekering gaat eerder door. Maar zelfs die snelle smeltzekeringen zijn voor ons doel nog veel te traag. Bij een fikse kortsluiting duurt het altijd nog even voor het draadje smelt. Voor een trafo of weerstand is dat niet zo erg, die kunnen wel tegen een stootje. Maar een transistor is al lang en breed gesneuveld als de zekering eindelijk springt.
Ook is dit soort zekeringen op een modelbaan, waar herhaaldelijk sluiting voorkomt, erg onpraktisch. Telkens wanneer er sluiting optreedt, moet de defecte zekering worden vervangen. We moeten dus steeds een flink aantal exemplaren in voorraad hebben en dan zijn ze natuurlijk uitgerekend op zondag op, als we juist fijn aan de baan willen gaan knutselen.
Er is één plaats waar de zekering ook bij ons goed op zijn plaats is nl. tussen het stopcontact en de voedingstrafo. Gaat er dan met de trafo iets mis, dan kunnen we tenminste geen last krijgen met de 220 V. Voor de trafo die bijvoorbeeld secundair 15 V/5 A levert nemen we dan een type voor 0,3 A. Bij normaal gebruik van de trafo zal die niet doorsmelten. Deze zekering beschermt ook nog tegen een ander gevaar.
In een voedingsschakeling bevindt zich namelijk áchter de gelijkrichter altijd een grote afvlakcondensator. Dat is dus meestal een elektrolytische condensator. Nu is juist een elco vaak het zwakste onderdeel in een schakeling. Door veroudering of door overbelasting kan het gebeuren, dat hij „doorslaat". Er ontstaat dan een inwendige kortsluiting. Daardoor ontstaat vaak grote schade aan de trafo en de gelijkrichter.
Een voedingsschakeling is meestal pas aan de uitgang beschermd, zodat die beveiliging niet in werking kan treden. Maar met de zekering in de primaire van de trafo kan de secundaire stroom nooit groter worden dan ruim 5 A, zodat we dan ook van dat gevaar verlost zijn.

Stroombegrenzing

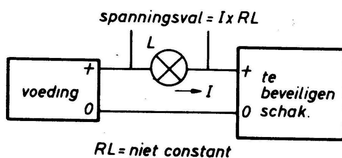
Stroombegrenzing is een goede methode om schakelingen tegen de nadelige gevolgen van overbelasting of kortsluiting te beschermen. In de voedingsschakelingen van afb. 2-15 en afb. 2-18 is dit toegepast.
Maar het kan nog eenvoudiger. Sluiten we namelijk in serie met de te beveiligen schakeling een zware laagohmige weerstand aan, dan kunnen we van tevoren precies uitrekenen wat de stroom bij een volledige kortsluiting zal zijn. Een voorbeeld is gegeven in afb. 6-1.
Tussen de voeding en de schakeling is een weerstand opgenomen van 5 Ω. De voeding levert een spanning van 12 V. Ontstaat er nu in de schakeling een volle-

dige kortsluiting, dan kan de stroom die door de voeding geleverd moet worden nooit groter worden dan 12 : 5 = 2,4 A.
Houden we hier rekening mee bij de bouw van die voeding, dan zijn we volledig gedekt tegen het gevaar van kortsluiting. Maar helaas zit er natuurlijk weer een addertje onder het gras. Deze methode is voor permanent gebruik ongeschikt, omdat we door die weerstand onze stabilisatie, die we met zoveel moeite verwezenlijkt hebben, weer helemaal teniet doen.



Afb. 6-1. Eenvoudigste manier van stroombegrenzing.

Door het aanbrengen van die weerstand maken we de uitgangsspanning van de voeding weer afhankelijk van de stroom en daar waren we nu juist vanaf. Is de uitgangsspanning van de voeding bijv. 12 V, dan krijgt een schakeling die 0,5 A verbruikt geen 12 V, maar slechts 12 - 0,5 · 5 = 9,5 V.
Er valt namelijk 2,5 V over die begrenzingsweerstand. Maar dit is nog niet het ergste. Als die spanningsval constant 2,5 V zou zijn, dan zouden we daar nog rekening mee kunnen houden.
Maar zodra de stroom groter wordt (bijv. door het inschakelen van een lamp), neemt die spanningsval opeens toe en wordt de spanning nog lager. Bij een stroomverbruik van bijv. 1 A is de spanningsval al gestegen tot 5 V zodat de schakeling nog maar 7 V krijgt. Er is dus geen spoor meer te bekennen van de stabilisatie. Deze weerstand is wel nuttig bij het voor de eerste keer uittesten van een nieuw gebouwde schakeling. Is er iets mis in de schakeling, dan sparen we in ieder geval de voeding. Dit is natuurlijk niet nodig bij gebruik van een voeding met ingebouwde stroombegrenzing. Een grote verbetering is het gebruik van een gloeilamp in plaats van een weerstand.
Als voorbeeld bekijken we eens een 12 V/ 10 W-autolamp.
Zo'n lamp verbruikt een stroom van: 10 : 12 = 0,8 A.
De weerstand van die lamp is dus 12 : 0,8 = 15 Ω. Tot zover is er nog niets nieuws.



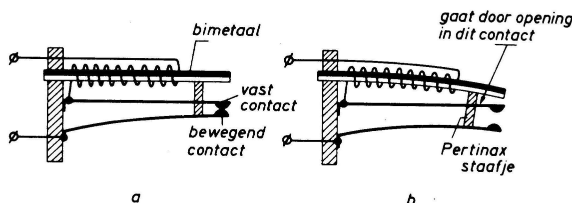
Afb. 6-2. Stroombegrenzing d.m.v. een gloeilamp.

Maar de weerstand die we net uitgerekend hebben, geldt voor een brándende lamp. De gloeidraad is dan op zijn normale brandtemperatuur. De gloeidraad heeft een grote positieve temperatuurcoëfficiënt, d.w.z. hoe hoger de temperatuur wordt, hoe hoger de weerstand.
De weerstand van de koude gloeidraad is veel en veel lager dan die berekende 15 Ω. En dat is nu juist iets, wat we bij stroombegrenzing heel goed kunnen gebruiken.
De weerstand van onze 12 V/10 W-lamp is in koude toestand zelfs maar 1,5 Ω. Nemen we in de voedingsleiding van een schakeling een gloeilamp op, dan zijn we verlost van de zorgen om kortsluiting en de lamp verknoeit niet helemaal de stabilisatie. Het wordt er natuurlijk niet beter van, maar de achteruitgang is nog wel acceptabel, tenminste wanneer we het juiste type lamp gebruiken. De normale stroom die de schakeling opneemt, moet een klein gedeelte zijn van de nominale stroom van de lamp. Zodoende heeft de lamp bij normaal gebruik maar een lage weerstand. Pas als de stroom te hoog oploopt, neemt de weerstand van de gloeidraad toe waardoor de stroom effectief wordt begrensd.
Maar de stroom door de lamp bij kortsluiting mag nooit de maximaal toelaatbare stroom van de voeding overschrijden. Voorbeeld: Een schakeling verbruikt bij 12 V voedingsspanning 300 mA. Het voedingsapparaat mag een stroom leveren van maximaal 2 A. Gevraagd de juiste lamp.
De maximale stroom is 2 A. We moeten dan een lamp hebben van $2 \cdot 12 = 24$ W. 25 W is een gangbaar type.
De weerstand van een dergelijke lamp is bij een stroomdoorgang van 300 mA heel laag, zodat we weinig spanningsverlies zullen krijgen. De lamp zal niet eens zwak gaan gloeien.
Een prettige bijkomstigheid is nog, dat we aan de lamp direct kunnen zien als er iets mis is. Bij een flinke overbelasting gaat de lamp zwak branden, maar bij een volledige kortsluiting licht hij fel op. Al met al is deze wijze van stroombegrenzing weinig elegant. In de voedingsschakelingen van afb. 2-15 en afb. 2-18 hebben we de betere methode al behandeld.

Het uitschakelen van de voeding bij kortsluiting

In plaats van de stroom tot een bepaalde maximale waarde te begrenzen, kunnen we de stroom bij het overschrijden van een bepaalde, van tevoren ingestelde grens, ook helemaal uitschakelen. Om dat te bereiken hebben we diverse mogelijkheden.
De eenvoudigste methode is het gebruik van een zgn. thermoschakelaar. Een thermoschakelaar berust op het principe van het bimetaal. Een bimetaal is een strip die bestaat uit twee op elkaar bevestigde stroken van een verschillend metaal. Deze zullen bij verwarming niet evenveel uitzetten.
Het gevolg is dat de strip krom trekt. Bij een thermoschakelaar is op zo'n strip bimetaal een wikkeling van weerstandsdraad aangebracht (zie afb. 6-3). Aan de

onderkant is de strip vastgemaakt in een voet van isolatiemateriaal. Aan de bovenzijde wordt een Pertinax-pennetje door een verende contacttong tegen het bimetaal gedrukt. Tussen de contactstrip en het bimetaal is het andere contact aangebracht in de vorm van een stevig onbuigbaar plaatje metaal. In koude toestand is het contact gesloten.



Afb. 6-3. Thermoschakelaar.
a. in koude toestand; b. in hete toestand (contact verbroken).

Gaat er nu stroom door de wikkeling dan wordt het bimetaal warm. Het wil krom gaan trekken, maar wordt in eerste instantie nog enigszins tegengehouden door de veerdruk. Overschrijdt de stroom nu de ingestelde waarde, dan wordt de kracht zó groot, dat het contact wordt geopend. De stroom wordt onderbroken. Het bimetaal koelt weer af en na enige tijd sluit het contact weer. Is de overbelasting of kortsluiting dan nog aanwezig, dan wordt de stroom al snel weer uitgeschakeld.
Dit is dan ook al direct het grote nadeel van deze wijze van beveiliging. Het contact gaat bij kortsluiting „klapperen".
De weerstand van de wikkeling is meestal ongeveer 1 á 2 Ω.
Bij een stroomdoorgang van ca. 1,5 A zal het contact verbroken worden. Het „zelfreparerende" karakter van de thermoschakelaar is op de spoorbaan natuurlijk wel erg plezierig, ware het niet, dat de schakelaar vreselijk traag is. Voor de beveiliging van transistoren zijn ze dan ook totaal ongeschikt.

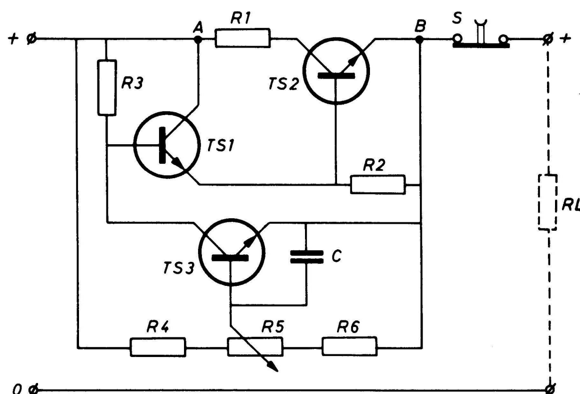
Elektronische kortsluitbeveiliging

Een heel groot bezwaar van de hierboven beschreven methodes is, dat ze niet instelbaar zijn. Ze komen in werking boven een vast ingestelde waarde. Willen we bij een hogere of lagere stroom uitschakelen, dan moeten we een ander type nemen. Gelukkig biedt de elektronica een betere oplossing.
In afb. 6-4 zien we het schema van een universele kortsluitbeveiligingsschakeling. De werking van deze schakeling is te vergelijken met die van een zgn. automatische stop of zekering.
Bij het overschrijden van de ingestelde stroom, schakelt de zekering uit en blijft in deze toestand tot er op een hersteltoets wordt gedrukt. Een groot voordeel t.o.v. de gewone zekering is de enorme snelheid waarmee de schakeling de

stroom kan uitschakelen bij een optredende kortsluiting. Een ander voordeel is dat deze schakeling instelbaar is. De werking is als volgt:
TS1 en TS2 vormen samen een Darlington. Alleen is er tussen de collectoren nog een weerstand R1 opgenomen. In rust staat TS3 gesperd. TS1 kan nu via R3 basisstroom trekken en is volledig in geleiding. Ook TS2 is dan open en de zekering is „gesloten". De stroom kan ongehinderd passeren. Maar door die stroom zal er tussen de punten A en B een spanningsval ontstaan.
Deze spanningsval, die in hoofdzaak wordt bepaald door de waarde van R1, staat ook op de spanningsdeler bestaande uit R4, R5 en R6. De loper van potmeter R5 is verbonden met de basis van TS3. Het komt er dus op neer, dat een instelbaar deel van de spanningsval over R1 en TS2 op de basis van TS3 verschijnt. Hoe groter nu de stroom door de zekering wordt, hoe hoger de spanning op de basis van TS3 wordt. Zodra deze spanning groter wordt dan de basis-emitterspanning gaat TS3 iets open. Daardoor wordt een klein deel van de basisstroom van TS1 weggetrokken. Deze transistor zal iets dichtgaan, met het gevolg dat ook TS2 een beetje afknijpt. Dit resulteert in een grotere spanningsval tussen A en B.

ONDERDELENLIJST

C	zie tekst
R1	1 Ω
R2	100 Ω
R3	470 Ω
R4	1 kΩ
R5	5 kΩ (instelpotmeter)
R6	1 kΩ
TS1	2N2219
TS2	2N3055
TS3	BC 107



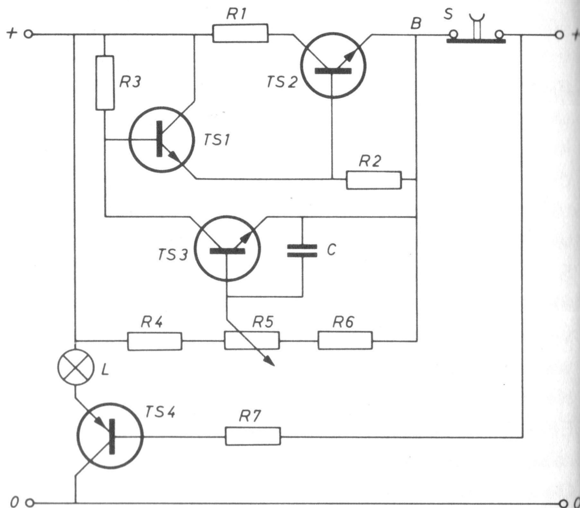
Afb. 6-4. Elektronische zekering.

De spanning op de basis van TS3 wordt ook groter en deze tor gaat weer verder open. TS1 en TS2 gaan verder dicht, de spanningsval wordt nog groter, enz. Dit noemt men het lawine-effect.
Een kleine verstoring van het evenwicht, in de vorm van het overschrijden van de basis-emitterspanning van TS3, heeft tot gevolg, dat de schakeling helemaal omklapt. TS2 gaat volledig sperren. De spanningsval tussen de punten A en B is nu de totale voedingsspanning geworden. Daardoor is TS3 volledig in geleiding en blijft dit ook, ook al is de kortsluitstroom nu bijna helemaal opgeheven. Er loopt alleen nog een stroompje via R3 en TS3 plus een nog kleiner door de spanningsdeler. Maar dit is te verwaarlozen. Het in werking komen van de

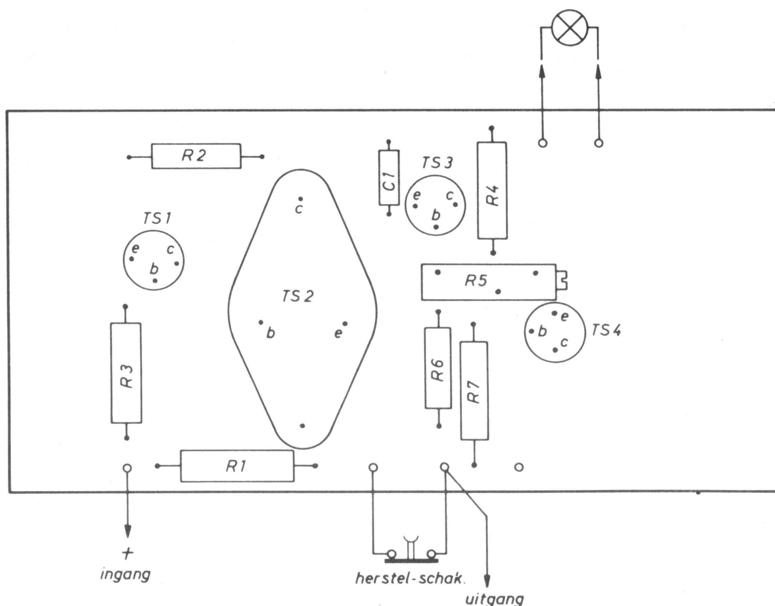
schakeling is heel scherp begrensd en gebeurt enorm snel. TS2 is óf helemaal open óf helemaal dicht. De tijd die het omschakelen vergt, bedraagt maar enkele microseconden.
De grote kortsluitstroom wordt dus zó snel uitgeschakeld, dat zelfs de meest kwetsbare transistor er geen nadelige gevolgen van ondervindt. TS2 blijft dus dicht, ook al is de kortsluiting weer opgeheven. Om de schakeling in zijn rusttoestand terug te brengen, moeten we schakelaar S even indrukken. Daardoor wordt ook dat laatste stroompje onderbroken en gaat TS3 ook dicht. Laten we S weer los, dan blijft TS3 dicht en gaan TS1 en TS2 weer open zodat de stroom weer normaal door de „zekering" gaat, tenminste als de kortsluiting is opgeheven. Is dit laatste niet het geval dan schakelt de zekering de stroom onmiddellijk weer uit.
Het grote voordeel van deze schakeling is, dat er maar twee aansluitingen zijn. Er is geen aparte voeding voor nodig. We kunnen de zekering overal waar we maar willen toepassen.
De zekering komt, zoals we zagen, heel snel in werking. Soms gebeurt dat eigenlijk wel een beetje té snel. Sluiten we er namelijk een schakeling op aan, waarin een grote elco rechtstreeks op de voedingsspanning is aangesloten, dan is de eerste grote laadstroom van die elco al genoeg om de zekering in werking te brengen en dat is natuurlijk een beetje lastig. Daarom is C aangebracht (zie afb. 6-4). Deze condensator vertraagt het schakelen van de zekering.
De plotselinge, korte spanningssprong op de basis van TS3 die ontstaat door de grote laadstroom van een elco in de te beveiligen schakeling, wordt weggewerkt door C.
C moet zich namelijk eerst opladen en dit duurt even. Tegen de tijd dat de basis van TS3 hoog genoeg komt, is die spanningssprong al lang weer verdwenen doordat de laadstroom niet meer geleverd behoeft te worden. Maar we moeten de waarde van C wel met zorg kiezen.
Maken we die condensator te groot, dan wordt de zekering te traag om nog voldoende bescherming voor transistoren te bieden. We moeten C dan ook steeds enigszins aanpassen aan de in de te beveiligen schakeling aanwezige elco. De maximum-waarde voor C is ongeveer 0,15 μF. De schakeltijd van de zekering is dan ca. 1 ms. Dit is nog net snel genoeg om een transistor afdoende te beschermen. Met een dergelijke waarde voor C verdraagt de schakeling een laadstroom van een elco van 50 μF. Soms zijn er echter nog grotere elco's aanwezig. Dan moeten we de te beveiligen schakeling even goed bekijken. Loopt de eventueel optredende kortsluitstroom niet door een transistor, dan mogen we C nog wel verhogen tot ca. 0,5 μF.
Gaat die stroom wél door een transistor, dan nemen we in serie met die grote condensator een weerstandje op van zo'n 2 Ω. Deze weerstand verlaagt dan afdoende de inschakellaadstroompiek. We moeten er dan echter wel vrede mee hebben, dat de stabilisatie slechter wordt. Gelukkig komt het bijna nooit voor, dat er in een schakeling zo'n grote condensator rechtstreeks op de voedings-

ONDERDELENLIJST

C	zie tekst
R1	1 Ω
R2	100 Ω
R3	470 Ω
R4	1 kΩ
R5	5 kΩ
R6	1 kΩ
R7	1 kΩ
TS1	2N2219
TS2	2N3055
TS3	BC 107
TS4	BC 212
L	lampje 12 V/50 mA

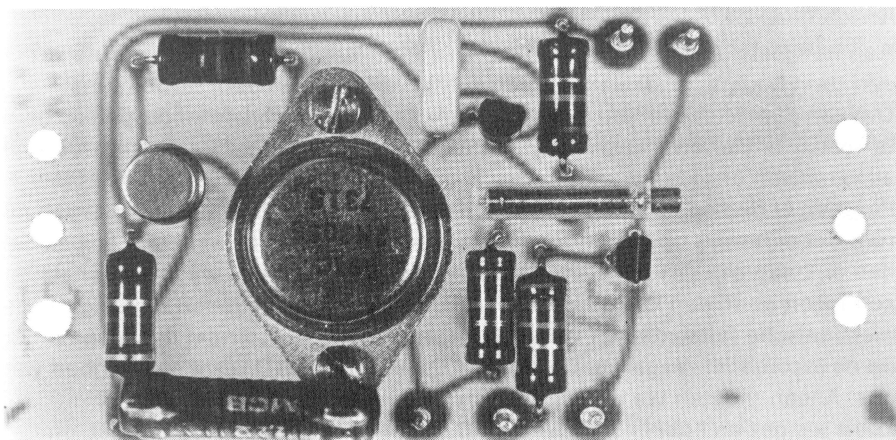


Afb. 6-5. Elektronische zekering met signalering.



Afb. 6-6. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 6-5 (zie ook blz. 171).

spanning aangesloten is. Dit komt hoogstens voor in afvlakschakelingen en die bevinden zich automatisch vóór de zekering.
Met de schakeling van afb. 6-4 hebben we geen enkele indicatie als er sluiting opgetreden is en de zekering de stroom heeft uitgeschakeld. Daarom voegen we nog iets aan de schakeling toe nl.: een pnp-transistor, een weerstand en een lampje (zie afb. 6-5). Normaal is de spanningsval over R1 en TS2 kleiner dan ca. 0,6 V. Deze spanningsval komt via het lampje L en weerstand R6 op resp. de emitter en de basis van TS4.



Afb. 6-7. De elektronische zekering.

Punt B en dus de basis van TS4 zal negatief zijn t.o.v. punt A (emitter). Komt de zekering in werking, dan wordt de spanningsval opeens heel groot. Daardoor kan TS4 via R6 stroom trekken en gaat het lampje branden ten teken, dat er ergens iets mis is. Het lampje blijft branden totdat de zekering weer in zijn rusttoestand wordt gebracht.
Wel moeten we nu ook de 0 van de voeding op de schakeling aansluiten.

6.3. Beveiliging op de baan

Beveiliging van een kruispunt

Het beveiligen van een kruispunt is een vrij eenvoudige opgave. Toch gaan we het helemaal van het begin af aan opbouwen. Hierdoor raken we vertrouwd met de algemene principes die aan alle beveiligingen ten grondslag liggen. Het is dan verder niet zo moeilijk meer om ingewikkelder situaties te gaan beveiligen.
Het prettige van een kruispunt is dat er geen wissel in voorkomt. De richting van de trein is vastgelegd en kan op geen enkele manier veranderen. We vragen

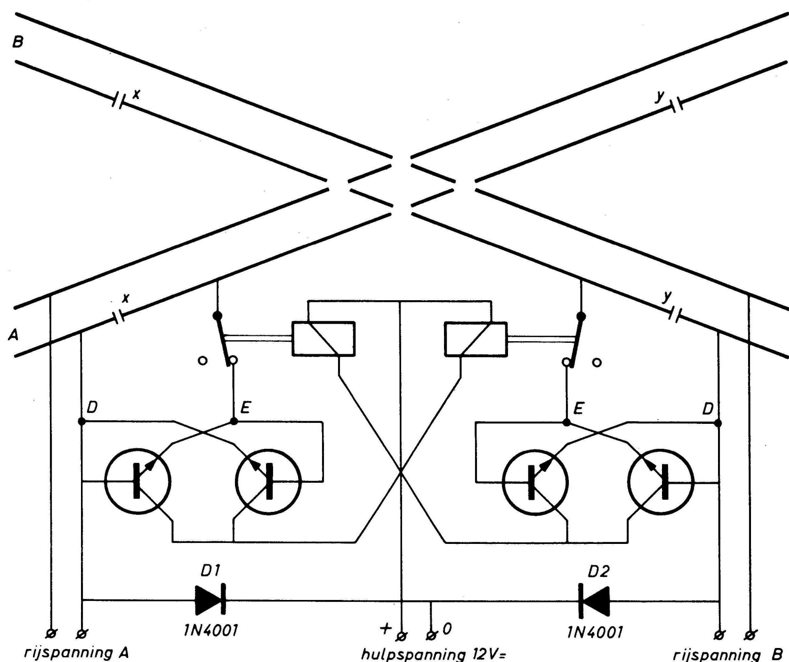
ons steeds eerst af: Wat kan er mis gaan? Op een kruispunt is dat niet zoveel. Het enige gevaar dat er dreigt, is een botsing tussen twee treinen. Dat moeten we dus met de te ontwerpen beveiligingsschakeling zien te voorkomen.
De beveiligingsschakeling moet aan de volgende eisen voldoen:

1. Het moet te allen tijde onmogelijk zijn, dat er twee treinen tegelijk op het kruispunt zijn.
2. Het treinverloop moet zo min mogelijk vertraagd worden. Een trein mag dus nooit onnodig lang voor een kruising stil blijven staan.
3. De beveiliging moet werken, ongeacht de rijrichting.

Aan het gestelde in punt 1 is vrij eenvoudig te voldoen. Als er op het ene spoor een trein nadert, schakelen we eenvoudig het andere spoor stroomloos.
Om aan punt 2 te voldoen, moet de schakeling in staat zijn de lengte van de trein te weten te komen. Nemen we namelijk een vaste lengte aan, dan moet dat automatisch onze langste trein zijn.
Passeert er dan op het ene spoor alleen maar een locomotief, dan kan het gebeuren, dat een trein op het andere spoor voor niets staat te wachten. Er bestaat dan ook nog een gevaar. Hangen we per ongeluk eens één wagon meer achter een locomotief, dan kan de zaak spaak lopen. Om deze redenen zijn de gewone mechanische railcontacten voor dit doel niet bruikbaar, omdat die alleen maar op de locomotief reageren. De in par. 4.5 besproken DTD komt nu erg goed van pas. Alleen moeten we wel de trein eerst even onder handen nemen.
Zoals we gezien hebben, reageert de DTD alleen maar op de locomotief, omdat deze vaak de enige stroomverbruiker in de trein is. Daarom gaan we ervoor zorgen, dat elke wagon ook stroom trekt. Dat hoeft helemaal niet zoveel te zijn, een paar mA is al genoeg. Aan wagons die voorzien zijn van binnenverlichting hoeven we al niets meer te doen. De stroom die de lampjes trekken, is al genoeg.
Bij alle niet-verlichte wagons brengen we op de laatste as een weerstand aan van 470 Ω. (Eventueel plastic bandjes van de wielen verwijderen!!).
Bij sommige asconstructies zal het plaatsen van deze weerstand misschien wat moeilijkheden opleveren, maar een handige knutselaar vindt daar wel wat op. (Verende sleepcontacten op de as of het wiel of iets dergelijks.) Aan het gestelde in punt 3 is door het gebruik van de DTD ook voldaan.
We maken nu in beide sporen het benodigde geïsoleerde railstuk. Dit moet lopen vanaf ca. 20 cm vóór tot 20 cm áchter het kruispunt. In afb. 6-8 is de hele situatie getekend. Het kruispunt is hier schematisch weergegeven. De rechtdoorlopende rails zijn in werkelijkheid onder de bielsmat door strips doorverbonden.

We hebben in totaal twee complete DTD's en twee relais nodig. De relais moeten zijn uitgerust met minimaal één wisselcontact en geschikt zijn voor een spoelspanning van 12 V. De Siemens-printrelais zijn hiervoor erg geschikt. Bij de bespreking van de printontwerpen komen we daar nog op terug.

In afb. 6-8 zien we dus de sporen A en B met de resp. geïsoleerde gedeelten $A_{x\text{-}y}$ en $B_{x\text{-}y}$.
De aansluiting van de railstukken x-y loopt via de rustcontacten van de twee relais. Zo'n rustcontact is normaal gesloten. Het relais van $A_{x\text{-}y}$ wordt bediend door de DTD van spoor B en omgekeerd. De werking van de beveiliging is nu als volgt:
Zolang de sporen verlaten zijn, zijn de relais in rust. Nadert er nu bijvoorbeeld op spoor A een trein, dan zal deze zijn weg normaal over de kruising vervolgen. Relais ARy komt op en het contact schakelt om. Nu is de leiding naar $B_{x\text{-}y}$ onderbroken en een eventueel aanstormende trein stopt keurig voordat er ongelukken kunnen gebeuren. De DTD in spoor B komt niet in werking, zodat relais BR_y in rust blijft. De trein op spoor A rijdt gewoon door.
Doordat nu *alle* wagons invloed hebben op de DTD blijft de trein op spoor B wachten tot de laatste wagon $A_{x\text{-}y}$ verlaten heeft. AR_y valt af en het rustcontact schakelt $B_{x\text{-}y}$ weer in.



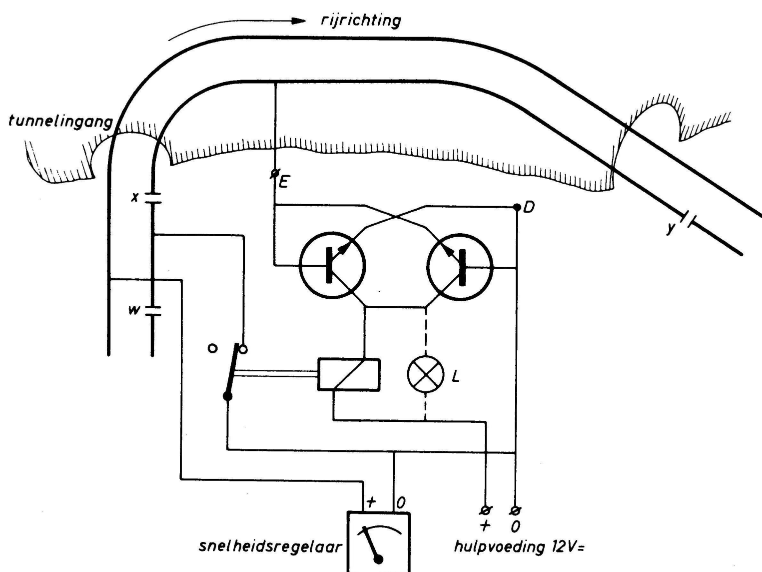
Afb. 6-8. Beveiliging van een kruispunt.

Nu kan deze trein het kruispunt passeren. Door het afvallen van ARy komt direct de DTD in spoor B in werking. Relais BR_y komt op en schakelt zodoende $A_{x\text{-}y}$ uit. Dit heeft geen enkel effect, omdat spoor A toch verlaten is.
Het voorkomt echter wel dat een trein die vlak achter de eerste op spoor A rijdt

niet met de trein op spoor B in botsing kan komen. De twee dioden in de 0-leidingen van de hulpvoeding zijn nodig om de rijspanning van spoor A helemaal gescheiden te kunnen houden van spoor B. Gebruiken we dezelfde regelaar voor beide sporen, dan kunnen we die dioden weglaten.

Het beveiligen van een tunnel

Een nogal vaak voorkomend euvel op de modelbaan is het losraken van één of meer wagons. De koppelingen zijn en blijven nu eenmaal vaak het zwakste punt van een trein. Gebeurt zoiets op een open baanvak, dan ziet de „machinist" zo'n obstakel meestal vroeg genoeg om nog aan de noodrem te kunnen trekken. Maar in tunnels ligt de zaak heel anders. We zitten nu eenmaal niet zelf in de locomotief en meestal hebben we het achterblijven van één of meer wagons in een tunnel pas in de gaten als de volgende trein er met een klap bovenop rijdt en óf ontspoort óf met de staart van zijn voorganger voor zich uitduwend, weer tevoorschijn komt.



Afb. 6-9. Beveiliging van een tunnel (eenrichtingsverkeer).

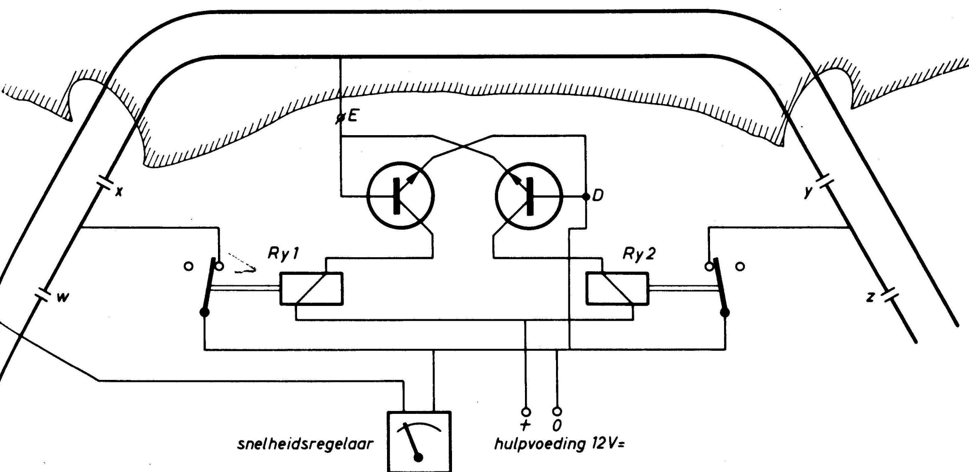
Dat ontsporen is vervelend, omdat we de trein weer met moeite via een achterdeurtje uit de tunnel moeten halen en een loc die een aantal wagons voor zich uit duwt, is helemaal te gek. Gelukkig is dit alles vrij eenvoudig te voorkomen. We hebben hiervoor maar één DTD en één relais nodig. In afb. 6-9 is de situatie getekend.

Het geïsoleerde railstuk x-y beslaat nu de hele tunnel. Het begint ca. 20 cm er-

voor en eindigt er net zover achter. Vóór dit railstuk is nog een stukje geïsoleerde rail w-x aangebracht. De stroom voor dit stukje dat we in het vervolg heel deftig stopsectie zullen noemen, loopt via het rustcontact van het relais. Zolang de tunnel leeg is, krijgt dit stuk normaal spanning. Komt de trein nu via w-x op x-y dan trekt het relais aan en wordt w-x stroomloos. De trein merkt daar niets van en vervolgt ongestoord zijn weg door de tunnel. Zodra de laatste wagon y gepasseerd is, valt het relais af en wordt w-x weer ingeschakeld.

Verliest de trein nu één of meer wagons in de tunnel, dan blijft het relais bekrachtigd, omdat er stroom blijft gaan door de DTD. De volgende trein zal dus stoppen op de stopsectie w-x. Het mooiste is dan om op het bedieningspaneel een signaallampje te hebben dat oplicht wanneer er in de tunnel iets fout is. We kunnen dan een rangeerloc de tunnel insturen om de onwillige wagons op te halen. Dat lampje kunnen we mooi parallel met het relais schakelen (gestippeld getekend).

Zodra de tunnel weer vrij is, kan de volgende trein doorrijden. Willen we nu het tunnelspoor in beide richtingen berijden, dan moeten we twee relais gebruiken (zie afb. 6-10).



Afb. 6-10. Beveiliging voor een tunnel (verkeer in beide richtingen).

We brengen dan ook nog een stopsectie y-z aan. w-x wordt nu via Ry_1 en y-z via R_{y2} geschakeld. Rijdt de trein nu van x naar z dan wordt door het relais Ry_1 sectie w-x uitgeschakeld, zodra de loc x gepasseerd is.

Sectie y-z houdt normaal spanning. Zodoende is het spoor nu in beide richtingen beveiligd. Met eventueel op het relais aanwezige extra-contacten kunnen we de seinen voor de stopsecties w-x en y-z bedienen.

Met deze twee voorbeelden hebben we natuurlijk nog lang niet alle mogelijkheden behandeld. Men moet er maar eens rustig voor gaan zitten en zelf een be-

paald probleem proberen op te lossen. Het beste kunnen we een situatieschets maken en bepalen wat de gevaren van die situatie zijn.
Dan zorgen we dat we door middel van één of meer DTD's voldoende gegevens krijgen over de bewegingen van de treinen. Met die DTD's schakelen we de één of andere stopsectie in of uit. Het is beslist een heel leuk werkje om ingewikkelde situaties, die op een modelbaan herhaaldelijk voorkomen, te gaan beveiligen. Er is één troost, grote schade ontstaat er niet zo vlug als er onverhoopt toch nog iets mis gaat. Dat is dan alleen een stimulans om de beveiliging nog „veiliger" te maken.

7. Automatisering

7.1. Algemeen

Evenals de beveiliging is ook de automatisering van de modelspoorbaan een onderwerp waarmee we gemakkelijk een heel dik boek zouden kunnen vullen. Ook in het dagelijkse leven krijgen we steeds vaker met, meer of minder, automatische apparaten te maken.
De modelspoorbaan leent zich bij uitstek voor automatisering maar toch moeten we ons eerst terdege afvragen hoever we met die automatisering willen gaan. Een werkelijk volledig automatische modelbaan waar we alleen maar met onze armen over elkaar naar gaan zitten kijken, zal op den duur toch geen bevrediging geven. Alleen op tentoonstellingen zijn zulke banen altijd dé grote blikvanger. De leek staat altijd weer versteld van die schijnbaar willekeurig over de baan razende modeltreinen zonder dat er botsingen plaatsvinden. Seinen verspringen automatisch, de trein stopt keurig een poosje langs het perron, enz.
De échte modelspoorenthousiast echter heeft meer plezier in het uitdenken en bouwen van zo'n baan.
Bij een baan van redelijke omvang (en druk treinverkeer) kunnen we van de automatisering gemakkelijk een project maken dat vele jaren al onze vrije tijd vergt.
Ook hierbij is het weer zó, dat ieder maar voor zichzelf moet uitmaken hoever de automatisering op zijn (of haar !!) baan doorgevoerd moet worden. We gaan hier dus geen volledig geautomatiseerde baan bespreken maar beperken ons tot een aantal algemene principes en bespreken een aantal schakelingen die we voor diverse, op een baan voorkomende, situaties kunnen gebruiken.

7.2. Tijd op de modelbaan

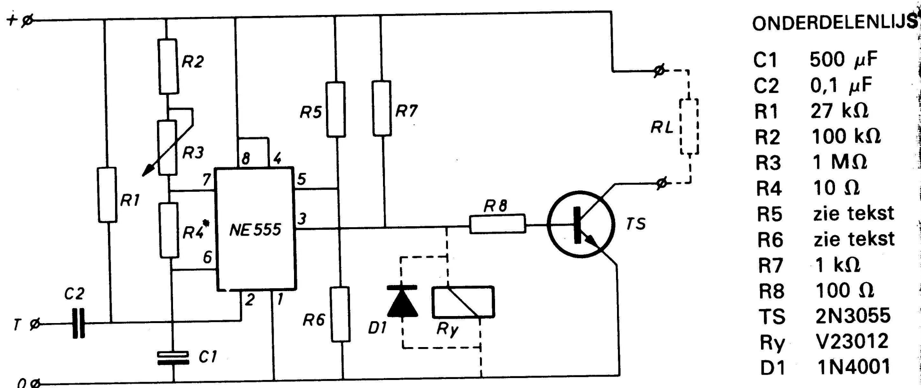
Algemeen

Op de meeste, weinig of helemaal niet geautomatiseerde modelbanen is het altijd een heerlijke „tijdloze" chaos. De treinen komen en gaan maar, als de machinist daar toevallig zin in heeft. Van een zekere orde en regelmaat is geen sprake. Met die arme „passagiers" wordt totaal geen rekening gehouden.
De machinist kan dat ook niet helemaal helpen, omdat hij veel te veel alleen moet doen.

Een heel belangrijk hulpmiddel om wat orde in die chaos te scheppen, is de tijdschakelaar.
Een tijdschakelaar, ook vaak tijdrelais genoemd, is een apparaatje waarmee we andere schakelingen, een van tevoren ingestelde tijd, kunnen in- of uit-schakelen.
Er zijn vele soorten tijdrelais, thermoschakelaars, roterende tijdschakelaars, enz. We zullen ons tot de voor ons meest aantrekkelijke types beperken, nl. de elektronische tijdrelais.

Tijdschakelaar met de NE 555

In par. 3.8 hebben we al uitvoerig kennis gemaakt met dit prachtige IC. De eenvoudigste toepassing van de NE 555 is als tijdschakelaar of one-shot. Zoals we toen zagen, is er nog een naam voor zo'n schakeling namelijk mono-stabiele multivibrator.
In afb. 7-1 zien we het schema van de praktische uitvoering van een tijdrelais met de NE 555.



Afb. 7-1. Tijdschakelaar met NE 555.
**Weerstand R4 is bij het gebruik als tijdschakelaar niet nodig. In het printontwerp is R4 toch aangebracht, teneinde dezelfde print te kunnen gebruiken voor de knipperlicht-centrale. In deze schakeling heeft R4 een heel lage waarde nl. 10 Ω. Ook is rekening gehouden met óf een powertransistor 2N3055 aan de uitgang, óf een relais (gestippeld getekend). Bij gebruik van een relais moet D1 aangebracht worden ter bescherming van de NE 555.*

Geven we op de ingang T een negatiefgaande impuls, dan begint de door R2 R3, R4 en C1 bepaalde cyclus. De uitgang 3 van het IC gaat „hoog" en TS kom in geleiding.
De in de collectorleiding van TS opgenomen belasting RL wordt ingeschakel
De tijd dat deze belasting ingeschakeld blijft, wordt berekend met de formul

$$t = (R_2 + R_3 + R_4) \cdot C_1 \cdot 1{,}1$$

Met de aangegeven componenten kunnen we dus een tijd t bereiken van maximaal:

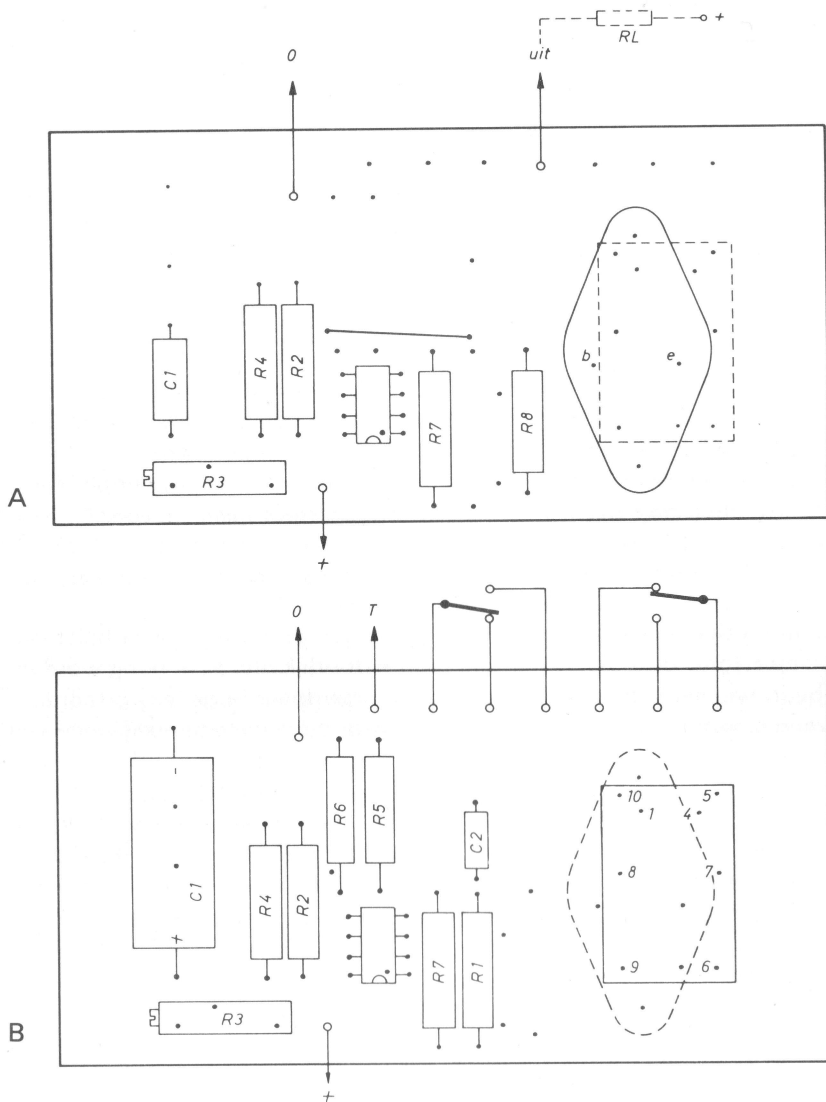
$$1{,}1 \cdot (10^5 + 10^6 + 10) \cdot 500 \cdot 10^{-6} = 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 6{,}05 \cdot 10^2 = 605 \text{ s}$$

Dit is dus ruim 10 minuten. (De 10 Ω-weerstand kunnen we gerust verwaarlozen!). Maar deze formule geldt alleen, als we ingang 5 van de NE 555 open laten. In het schema is deze ingang verbonden met een spanningsdeler bestaande uit R5 en R6.
Maken we R5 nu erg groot t.o.v. R6 dan zal de tijd langer worden. We kunnen zo zelf wat experimenteren met de waarden voor R5. Alleen is het niet verstandig om R5 groter te kiezen dan R6. Dan wordt de tijd namelijk korter dan de met de formule berekende. Er is nóg een punt waar we in onze berekening geen rekening mee hebben gehouden, nl. de lekstroom van de condensator.
Geen enkele condensator vormt voor gelijkstroom een oneindig hoge weerstand. Er lekt altijd nog wel wat stroom doorheen. Gebruiken we voor C1 een, vrij dure, tantaalelco, dan is die lek vrijwel te verwaarlozen, zodat de formule aardig klopt. Gebruiken we echter een goedkopere, gewone aluminiumelco, dan gaat die lekstroom wel degelijk een woordje meespreken.
De maximum-tijd zal daardoor wat langer worden en dit is nu juist helemaal niet zo onwelkom. Maar die lekstroom mag natuurlijk niet ál te hoog worden. Het gebeurt wel eens, dat een elco een onaanvaardbaar hoge lek vertoont.
De bovengenoemde tijd van 10 minuten zal voor de meeste toepassingen wel voldoende zijn.

Hebben we een nog langere schakeltijd nodig, dan mogen we de waarde van R2 en R3 gerust verhogen. Volgens de specificaties van de fabrikant is de maximum-waarde van R2 en R3 samen 20 MΩ. Maar dan moeten we wel een tantaalelco gebruiken. De maximum-tijd wordt dan bij gebruik van een tantaalelco van 100 μF, $20 \cdot 100 \cdot 1{,}1 = 2200$ s $\approx$ 37 min. Met een gewone elco gaat dit beslist niet

De laadstroom voor de elco is door de enorm hoge waarde van R2 en R3 maar $12 : 20 \cdot 10^6 = 0{,}6$ μA.
De lek door een gewone elco is meestal al veel groter, zodat de spanning op de comparator van de NE 555 nooit het schakelpunt bereikt. Na het starten, zal de timer dan ook niet meer terugkomen in zijn ruststand.

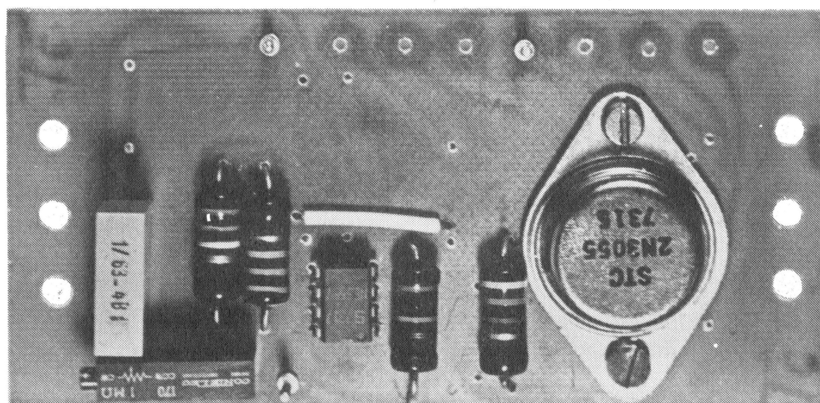
In afb. 7-2 is het printontwerp gegeven van deze tijdschakelaar. Deze print is wat ingewikkelder dan voor deze schakeling noodzakelijk is. Dat komt, omdat we hem ook kunnen gebruiken voor een andere, later te bespreken, toepassing van de NE 555. De print is ook zó uitgevoerd, dat er óf een relais óf een 2N3055 gebruikt kan worden. Zie voor meer details hoofdstuk 9.

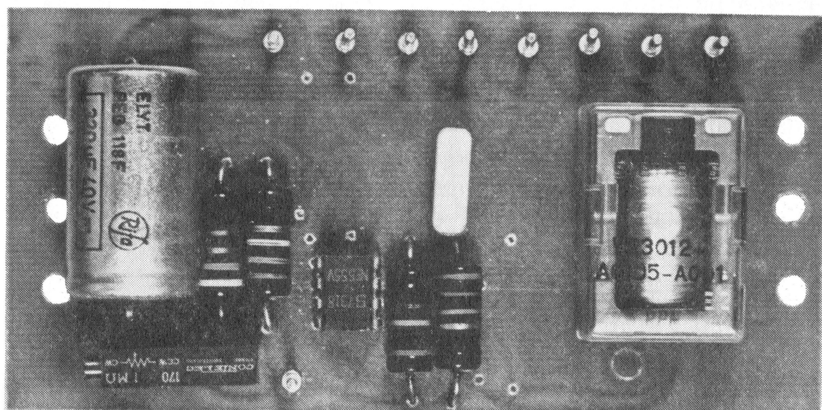


Afb. 7-2. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 7-1 en afb. 8-2 (zie ook blz. 171).

Tijdschakelaar met de XR 320

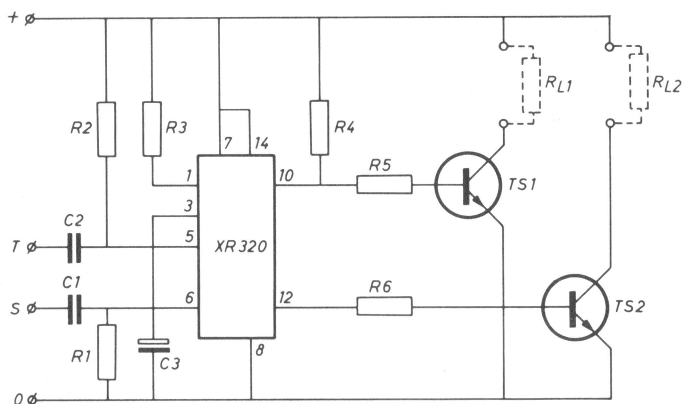
Ook de XR 320 is een monolitische geïntegreerde schakeling. Hij is tweemaal zo groot als de NE 555. De behuizing is een 14 pens DIL. De werking is in grote trekken vrijwel hetzelfde als van de NE 555. Maar we hebben met dit IC wat meer mogelijkheden. Er zijn meer in- en uitgangen beschikbaar.





Afb. 7-3. De twee uitvoeringsvormen van printontwerp 7-2.
Boven: De knipperlichtcentrale volgens afb. 8-2 met aan de uitgang een transistor 2N3055. Onder: De tijdschakelaar met relais.

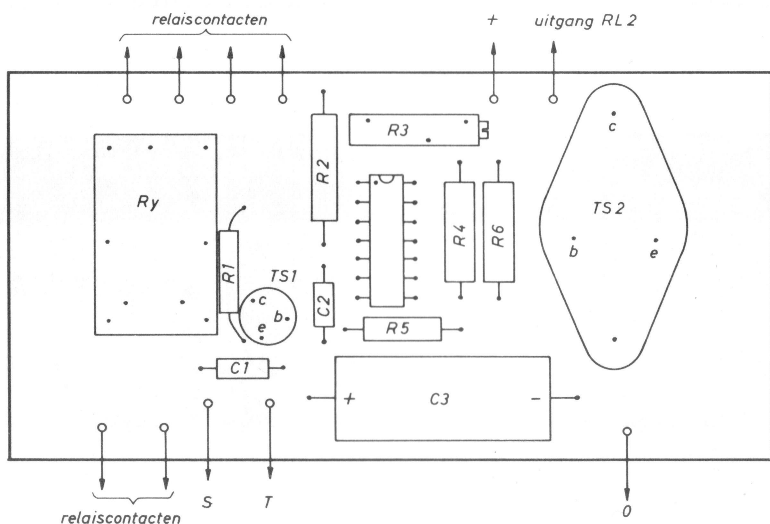
De NE 555 kan alleen worden gestart met een negatiefgaande impuls. De XR 320 daarentegen kan zowel met een positief- als een negatiefgaande impuls op gang worden gebracht. Vooral bij de automatisering is dat erg handig. De schakeling wordt zodoende veel universeler.
In afb. 7-4 is het schema van deze tijdschakelaar getekend.



ONDERDELENLIJST

C1	0,1 μF
C2	0,1 μF
C3	500 μF
R1	27 kΩ
R2	27 kΩ
R3	1 MΩ
R4	1 kΩ
R5	1500 Ω
R6	100 Ω
TS1	2N2219
TS2	2N3055

Afb. 7-4. Universele tijdschakelaar met de XR 320.

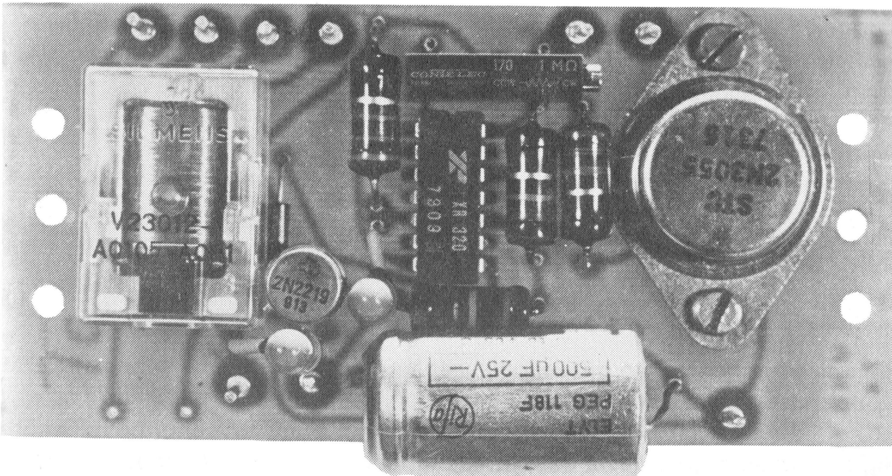


Afb. 7-5. Componentenopstelling van de schakeling van afb. 7-4 (zie ook blz. 171).

De punten 5 en 6 zijn de triggeringangen. De combinaties R1, C1 en R2, C2 vormen weer differentiërende netwerken. S is de positieve en T de negatieve startingang.
Met de XR 320 kunnen we ook langere tijden bereiken met dezelfde waarden voor de R en C. De formule waarmee we de schakeltijd kunnen uitrekenen luidt:

$$t = 2 \cdot R_3 \cdot C_3$$

(R3 is de laadweerstand en C3 de tijdsbepalende condensator.)



Afb. 7-6. Universele tijdschakelaar met de XR 320.

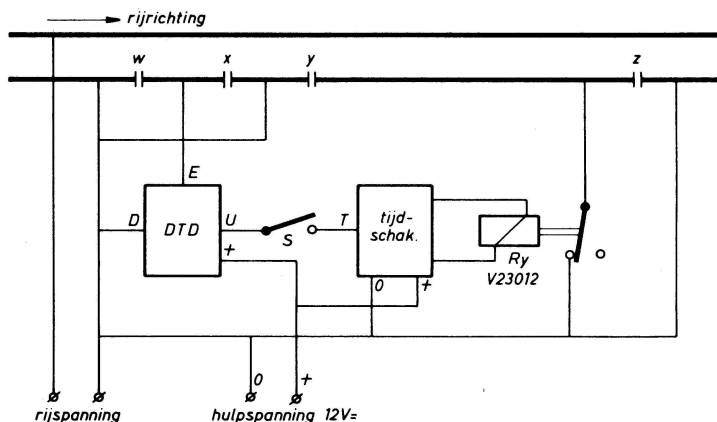
In plaats van één heeft de XR 320 twee uitgangen (de punten 10 en 12 van het IC). Deze twee uitgangen zijn steeds tegengesteld aan elkaar.
De uitgang 10 is normaal (in rust dus) laag en 12 hoog. Wordt de timer gestart, dan gaat 10 hoog en 12 laag. Alleen kunnen die twee uitgangen niet even zwaar worden belast. Uitgang 12 kan maximaal 100 mA afgeven of opnemen en voor uitgang 10 is 10 mA het maximum.
Ook voor de XR 320 geldt dat wanneer hij eenmaal gestart is, verdere impulsen op de ingangen geen enkele invloed meer hebben op de ingestelde tijd 2RC.
Punt 7 van het IC is de reset-ingang. Door een negatiefgaande impuls op deze ingang wordt de cyclus onderbroken en keren de uitgangen in hun ruststand terug. Deze ingang is in de schakeling van afb. 7-4 verbonden met de +. Deze ingang moet in rust namelijk op de volle voedingsspanning worden gehouden om te voorkomen dat de timer door de stoorimpuls zou worden gestopt. In tegenstelling tot de NE 555 start de XR 320 niet direct opnieuw, zodra de resetingang 7 weer hoog gaat. De timer wordt dus gestopt en blijft verder in rust totdat er weer een nieuwe startimpuls wordt gegeven. Ook dit is voor bepaalde toepassingen een heel plezierige eigenschap zoals we later zullen zien.
Toch zijn er naast al die voordelen ook nog wel een paar nadelen aan de XR 320. Dit IC heeft namelijk geen controle- of modulatie-ingang. Maar ja, je kunt nu eenmaal niet alles hebben.
Als a-stabiele multivibrator is hij ook minder geschikt. De tijd wordt alleen maar bepaald door R3 en C3. Zodoende kunnen we alleen maar de *laadtijd* en niet de ontlaadtijd van C3 instellen. Verbinden we nu de punten 3 en 5 met elkaar, dan gaat de schakeling wel oscilleren, maar de tijd dat de uitgang 10 hoog is (dus tijdens het ontladen van C3) is maar heel kort. Sluiten we er een lampje op aan, dan gaat dit niet eens merkbaar knipperen.

Op beide uitgangen is een ééntraps- transistorversterker aangesloten. De belasting kan dus zowel in de collectorleiding van TS1 als van TS2 worden opgenomen. Deze belasting kan weer bestaan uit een relais of lampje. De weerstanden R5 en R6 beschermen het IC tegen te hoge stromen. De weerstand R4 mag *nooit* worden weggelaten. Deze is nodig voor een goede werking van het IC. Afb. 7-5 geeft weer het printontwerp van deze universele tijdschakelaar.

7.3. Praktische automatiseringsschakelingen

Automatische „weg-blijf-schakeling"

Eén ding kunnen we op onze modelbaan nooit natuurgetrouw nabootsen. Dat is de afstand tussen de verschillende stations. Een afstand van 50 km is op een HO altijd nog maar liefst 572 meter! En wie kan er nu zo'n enorme raillengte op zijn zolder bergen? Wat dat betreft, kunnen we de schaalverhouding 1 : 87 dus met geen mogelijkheid zelfs maar benaderen. Het gevolg hiervan is dat de treinen veel te snel weer op het station terugkomen.
Om toch zoveel mogelijk rail tussen twee stations te krijgen, leggen we de baan in de meest fantastische kronkels, maar het blijft altijd veel te weinig.
We moeten het dus niet zoeken in de *afstand* die de trein moet afleggen voor hij het volgende station bereikt, maar in de *tijd* die hij erover doet.
We moeten de trein natuurlijk niet heel langzaam laten rijden, dat is geen gezicht. Nee, de enige mogelijkheid is, de trein ergens een poosje te laten stoppen.
De meesten van ons hebben op hun baan wel ergens een stuk rails „uit het gezicht" liggen, onder een berg of zo. Zo niet, dan maken we dat alsnog. Het is zelfs goed mogelijk een spoor onder het tafelblad te laten verdwijnen. Op dat spoor laten we de trein nu gewoon een poosje stilstaan.
Het is natuurlijk het mooist, dat „wegblijven" te automatiseren. Anders moeten we naast onze andere drukke werkzaamheden ook nog opletten dat de trein op tijd het station binnenkomt.
Dit is een kwestie van tijd, dus ligt het voor de hand hiervoor een tijdschakelaar te gebruiken. Verder hebben we dan nog alleen een DTD-schakeling nodig. In afb. 7-7 is de eenvoudigste situatie getekend.
We hebben de aparte schakelingen die al eerder in dit boek besproken zijn, voorgesteld door blokken. Zo'n schema noemen we dan ook een „blokschema".
In de complete schema's van deze blokken zijn steeds letters aangebracht bij de diverse in- en uitgangen. Deze letters vinden we ook weer in de tekening met de componentenopstelling van de print.
Op deze wijze vereenvoudigen we de diverse tekeningen van de automatiseringsschakelingen zodat ze heel wat overzichtelijker worden. In de schakeling van afb. 7-7 gebruiken we de DTD in zijn eenvoudigste vorm. De collectors van TS1 en TS2 worden met elkaar verbonden en er loopt slechts één weerstand van 2,2 kΩ naar de + van de hulpvoeding.



Afb. 7-7. „Wegblijf"-schakeling.

Op het printje verbinden we dus de twee uitgangen U_1 en U_2 met elkaar door middel van een draadje. TS3 en TS4 laten we gewoon weg evenals R3 en R4. Voor deze toepassing is de tijdschakelaar volgens afb. 7-1 het meest geschikt. We kiezen dan de uitvoering met relais. We verbinden ingang T van de tijdschakelaar met uitgang U_1 (of U_2, omdat ze toch doorverbonden zijn) van de DTD. De werking van de complete schakeling is nu als volgt: De DTD is verbonden met het railstuk w-x. Hiervoor nemen we de minimale lengte. Het railstuk x-y is een tussensectie, die normaal altijd rijspanning krijgt. We zullen straks zien waarom dit tussenstuk nodig is.

In de signaalleiding tussen de DTD en de tijdschakelaar is schakelaar S aangebracht. Deze schakelaar monteren we op het centrale bedieningspaneel. Komt er een trein aanrijden in de aangegeven richting, dan geeft de DTD bij het bereiken van het railstuk w-x een negatiefgaande spanningssprong.

Staat S nu open dan gebeurt er verder niets met dit signaal. De trein vervolgt rustig zijn weg over de secties x-y en y-z. De stopsectie y-z krijgt normaal rijspanning via het rustcontact van de tijdschakelaar.

Sluiten we S echter een poosje van tevoren dan staat de schakeling „op scherp". Zodra de trein w-x bereikt, wordt de tijdschakelaar gestart door het signaal van de DTD. Het relais Ry schakelt om en de stopsectie y-z wordt stroomloos. Zodra de loc y gepasseerd is, stopt hij. Na de ingestelde tijd valt het tijdrelais weer af en kan de trein vertrekken.

Nu komen we op de noodzaak van de tussensectie x-y.

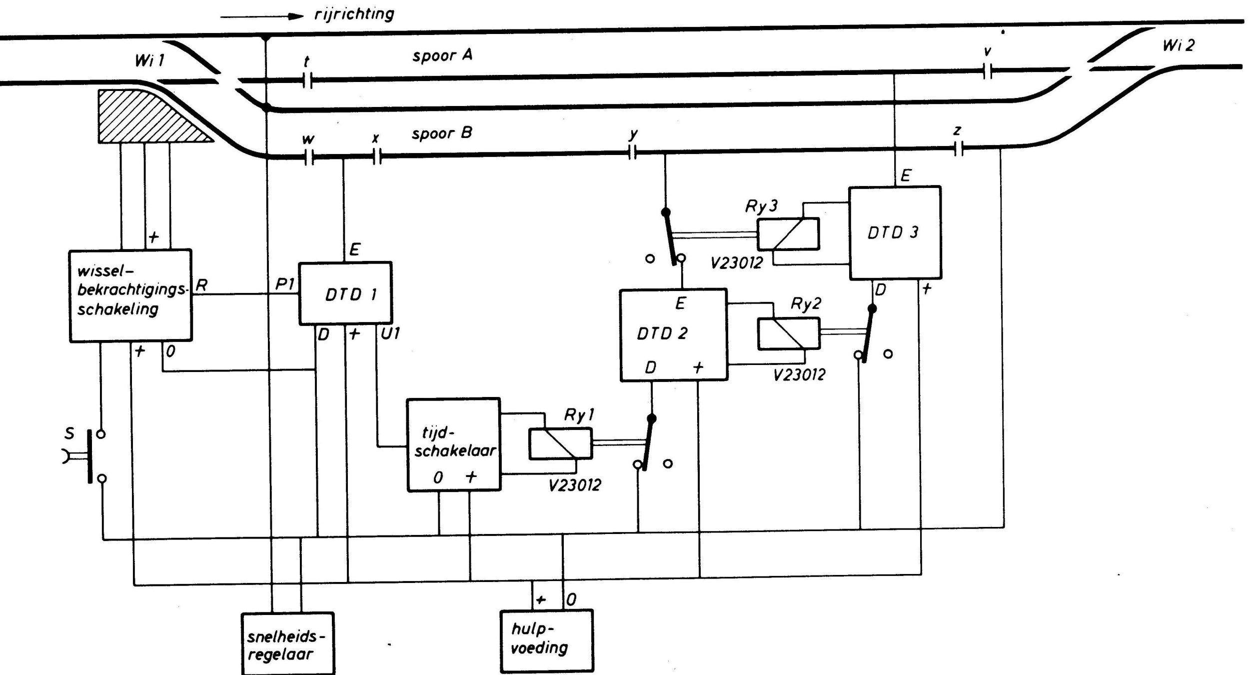
Zouden we de stopsectie direct laten aansluiten op de DTD dan zou het kunnen gebeuren, dat de DTD na het in beweging komen van de trein weer een signaal afgeeft. De tijdschakelaar zou dan weer starten en de trein zodoende dwingen nogmaals de ingestelde tijd te blijven wachten.

Zuiver theoretisch zou dit niet kunnen. Aangezien we alle wagons tot stroomverbruikers hebben gepromoveerd, zal de uitgang U van de DTD steeds 0 V blijven,

tot de laatste wagon w-x- verlaten heeft. Dan pas gaat U weer naar + 12 V en op deze positieve spanningssprong reageert de tijdschakelaar niet.
Maar in de praktijk is gebleken dat het gevaar van een tussentijdse impuls helemaal niet denkbeeldig is. Een extra lange wagon of een stel vuile wielen kan er de oorzaak van zijn, dat de DTD eventjes naar + 12 V gaat en op de daarop volgende negatieve sprong reageert de tijdschakelaar wèl.
Om dit gevaar in de kiem te smoren, hebben we de tussensectie x-y aangebracht. Deze sectie moet dan zó lang zijn, dat de langste trein w-x helemaal verlaten heeft, voordat de loc op de stopsectie tot stilstand komt. Bij het weer wegrijden is de DTD dan verlaten en kan er onmogelijk nog een impuls op de tijdschakelaar arriveren.
We kunnen nu vanaf ons bedieningspaneel beslissen of een bepaalde trein een poosje weg moet blijven of niet. Sluiten we S, dan zal de eerste trein die het spoor oprijdt de ingestelde tijd „verdwijnen".
Brengen we de stopsectie aan in een doorgaand spoor, dan is dat spoor wel meteen geblokkeerd als er een trein staat te wachten. Daarom is het nuttig de schakeling verder uit te breiden, zodat een eventueel achterop komende trein wèl gewoon kan doorrijden. Om dit te bereiken, dirigeren we de trein die moet wachten op een zijspoor, zodat het hoofdspoor vrij blijft. In afb. 7-8 is deze situatie getekend. Zoals we kunnen zien, wordt het geheel wel veel ingewikkelder.
Voor deze schakeling hebben we nodig:

drie DTD's, waarvan twee mét en één zonder relais;
één tijdschakelaar volgens afb. 7-1 met relais;
één wisselbekrachtigingsschakeling (in het vervolg korten we dit af tot WB).

In het hoofdspoor komen twee wissels: wi_1 is een elektromechanische wissel en wi_2 een gewone handwissel.
Aangezien het spoor toch maar in één richting bereden mag worden, kan wi_2 wel „opengesneden" worden. Om dit opensnijden te vergemakkelijken, kunnen we de wisseltongen loskoppelen van de hefboom. Zelfs de lichtste wagon duwt de tongen dan wel opzij. Spoor A noemen we het hoofdspoor en B het opbergspoor. In afb. 7-8 zijn alle relais getekend in de ruststand.
We bekijken nu eerst de situatie in rust, dus zonder treinverkeer op één van de sporen.
In spoor A vormt sectie t-v de DTD3. Deze beslaat dus het gehele spoor tussen de twee wissels.
In spoor B zijn twee DTD-secties namelijk w-x voor DTD1 en y-z voor DTD2. Sectie y-z is tegelijkertijd ook de stopsectie. Sectie t-v krijgt in de ruststand rijspanning via het rustcontact van Ry_2 (DTD2) en DTD3.
Er is geen trein op t-v zodat relais Ry_3 niet bekrachtigd is. De tijdschakelaar is ook in rust dus y-z krijgt rijspanning via het contact van Ry_1 (tijdschakelaar), DTD2 en het contact van Ry_3. Sectie w-x behoort tot DTD1 en krijgt langs die weg rijspanning. De rails vóór t en w en achter v en z zijn rechtstreeks met de



Afb. 7-8. Automatische „wegblijf"-schakeling zonder versperring van het hoofdspoor.

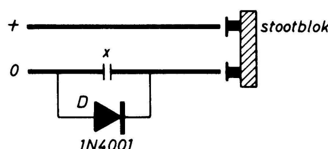
snelheidsregelaar verbonden. Ook sectie x-y is daarmee verbonden. We komen dus tot de conclusie, dat er overal rijspanning aanwezig is. Bij het bouwen van deze schakeling is het erg nuttig dit even te controleren voordat er een trein op los wordt gelaten. Met een dergelijk groot aantal draden wordt er ó zo gauw een foutje gemaakt.
We nemen aan dat na het inschakelen van de baan de wissel wi_1 recht staat. Zo niet, dan is dat nog geen ramp, alleen moeten we er dan op bedacht zijn, dat de eerste trein die het spoor oprijdt meteen de vastgestelde tijd „wegblijft". Maar nu gaan we eerst even uit van die rechte wisselstand.
De trein passeert de wissel en bereikt T. DTD3 komt in werking, het contact van Ry_3 schakelt om en neemt zo de rijspanning van y-z weg. Aangezien spoor B toch nog verlaten is, heeft dit geen enkel effect. Zodra de laatste wagon v is gepasseerd, valt Ry_3 weer af en wordt y-z weer voorzien van rijspanning.
Met wi_1 in de rechte stand gebeurt er dus maar erg weinig. De trein rijdt gewoon zonder oponthoud door.
Willen we nu een trein een poosje kwijt, dan drukken we even op drukschakelaar S. Deze schakelaar moet zich op het centrale bedieningspaneel bevinden. Door het indrukken van deze schakelaar geven we een negatiefgaande impuls op de K-ingang van de WB. Wi_1 klapt dus om. Het spreekt vanzelf, dat dit vroeg genoeg moet gebeuren en niet terwijl de trein bovenop de wissel is. De trein neemt nu het afbuigende spoor en bereikt weldra punt w.
DTD1 wordt actief. Dit heeft diverse gevolgen.
Uitgang U_1 gaat van + 12 V naar 0. Deze spanningssprong start de tijdschakelaar. Ry_1 komt op en berooft de stopsectie y-z van rijspanning. Uitgang P_1 gaat van 0 naar + 12 V. Deze uitgang is verbonden met de R-ingang van de WB. Maar aangezien dit een positiefgaande spanningssprong is, reageert de WB er niet op. De trein raast met onverminderde snelheid verder over spoor B.
Zodra de laatste wagon x gepasseerd is, gaat DTD1 terug naar zijn ruststand. Dit betekent, dat U_1 weer naar + 12 V en P_1 weer naar 0 V gaat. De tijdschakelaar trekt zich niets aan van de spanningssprong op zijn ingang omdat die nu positiefgaand is. Trouwens als de tijdschakelaar eenmaal gestart is, zou zelfs een negatiefgaande sprong geen effect meer sorteren.
Anders is het gesteld met de WB. Ingang R krijgt nu een negatiefgaande spanningssprong van P_1. De WB schakelt en zet wi_1 terug in de rechte stand. Zodoende is spoor A direct weer vrij, zonder dat we daar zelf op behoeven te letten. Dit automatisch terugstellen van wi_1 houdt echter wel in, dat x ver genoeg achter de wissel ligt en dat er beslist geen enkele wagon in de trein mag zitten, die geen stroom verbruikt. Anders schakelt de wissel om terwijl de staart van de trein er nog overheen rijdt. De trein vervolgt ongestoord zijn weg tot de loc y passeert: y-z is door de tijdschakelaar uitgeschakeld en de trein stopt.
Deze trein is dus netjes opgeborgen. De eventueel volgende treinen kunnen nu weer ongehinderd over het spoor A passeren. Dit heeft alleen tot gevolg dat R_{y3} steeds opkomt, maar y-z is dan toch al stroomloos. We mogen natuurlijk nooit

het wissel wi_1 op krom zetten terwijl er een trein op spoor B staat te wachten. Hierop is geen beveiliging ingebouwd. Dit is misschien een leuke uitdaging om eens te proberen. Er is wèl een andere beveiliging ingebouwd.
Stel dat de tijdschakelaar afvalt terwijl er een trein op spoor A rijdt. De trein op spoor B gaat dan ook rijden en de treinen rijden elkaar op de wissel wi_2 in de wielen. Om dit te voorkomen, is de stopsectie tevens DTD.
Deze beveiliging is identiek aan die van het kruispunt uit par. 6.3. Zolang er op spoor A een trein aanwezig is, blijft Ry_3 aangetrokken. Zelfs al zou de tijdschakelaar op dat moment afvallen, dan verhindert dit relais het starten van deze trein.

Ook kan er geen trein langs punt T zolang er een trein op y-z in beweging is. In dat geval is namelijk Ry_2 in actie en blokkeert de rijspanning voor t-v. Zolang de trein op y-z staat te wachten, is DTD2 in rust. Dit is dus een mooi voorbeeld van een automatiseringsschakeling met een ingebouwde beveiliging.
Aangezien de relais die we in de diverse schakelingen gebruiken diverse contacten hebben, kunnen we daarmee mooi de nodige seinen bedienen. Dit gaan we hier nu niet verder uitwerken. Zelf een beetje experimenteren is altijd leuker dan kant-en-klaar voorgeschotelde ontwerpen nabouwen.
In deze schakeling maken we gebruik van de uitgangen U_1 en P_1 van DTD1. Dit moet echter even in de praktijk worden geprobeerd. Het hangt namelijk af van de polariteit van de rijspanning. Het is dus best mogelijk, dat we juist de andere twee uitgangen (U_2 en P_2) moeten gebruiken. Even proberen maar.

Automatisch „opbergspoor"

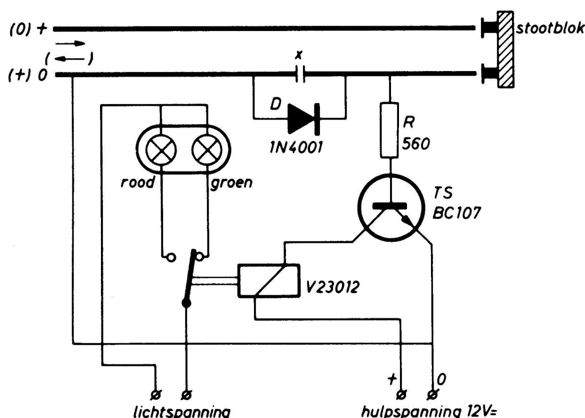
Op vrijwel alle modelspoorbanen komen wel één of meer doodlopende sporen voor, de zgn. opbergsporen. Deze lopen altijd uit op een stootblok.



Afb. 7-9. Stootblokbeveiliging.

We moeten goed uitkijken, dat we de loc niet met een daverende klap op dat stootblok laten belanden. Met behulp van wat eenvoudige elektronica kunnen we het verkeer op zo'n kopspoor gemakkelijk automatiseren. In het eenvoudigste geval hebben we alleen maar een zgn. blokgelijkrichter nodig. Een duur woord, maar het is niets meer dan een gewone diode.
In afb. 7-9 zien we, hoe we die diode op de rails moeten aansluiten. Een stukje vóór het stootblok onderbreken we de 0-rails. Over deze onderbreking sluiten we de diode aan. Hiervoor zijn praktisch alle dioden bruikbaar, mits ze maar zo'n

1 A kunnen verdragen. De diode wordt in doorlaatrichting aangesloten. De kathode komt dus aan het laatste van de rest van de baan geïsoleerde, stukje rail. Moet een bepaalde locomotief nu een poosje worden opgeborgen, dan rijden we hem in de richting van het stootblok. Zodra de loc het punt x gepassseerd is, zal hij stoppen. De diode staat immers in sperrichting.
Het is nu dus onmogelijk, dat de loc door een fout van de „machinist" met een klap op het stootblok rijdt. Tenminste als we er voor gezorgd hebben, dat de afstand tussen x en het stootblok groot genoeg is. Als de loc een aardig vaartje heeft, kan hij nog wel een flink stukje doorschuiven.
Moet hij weer in bedrijf worden gesteld, dan hoeven we alleen maar de rijspanning om te polen. Dan staat de diode in doorlaatrichting en kan de loc zonder meer wegrijden.
Maar, helemaal klaar zijn we nu nog niet. In het grootbedrijf staan er bij een dergelijk spoor natuurlijk seinen. En als we die seinen nu weer met de hand moeten gaan bedienen, zijn we nog niets opgeschoten. Die seinlichten moeten dus ook automatisch wisselen. In afb. 7-10 zien we het schema van een eenvoudige oplossing. Het enige wat we nodig hebben, is een weerstand, een transistor en een relais.



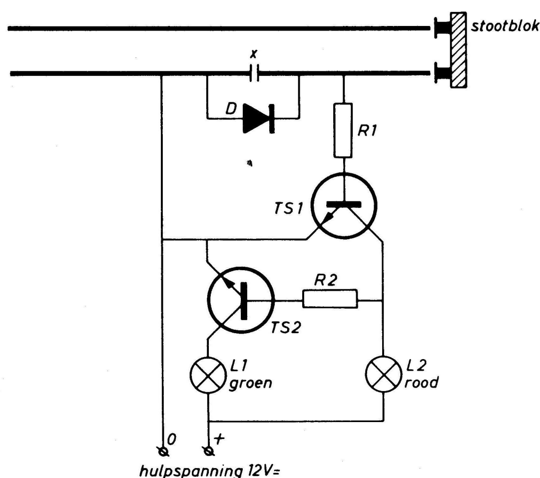
Afb. 7-10. Automatische seinlichtwisseling bij een kopspoor.

Zolang er geen loc op het railstuk x aanwezig is, kan TS1 geen stroom trekken. Het relais staat dus in zijn ruststand. Het rustcontact bedient het groene seinlicht. Komt er nu een loc op x tot stilstand, dan kan TS1 via de loc-motor en R1 stroomtrekken. Dit stroompje is te klein om de loc in beweging te houden, maar wel groot genoeg om TS1 helemaal open te sturen. Het relais komt op en het contact wisselt. Het groene licht dooft en het rode gaat branden ten teken dat het spoor bezet is.
Vertrekt de loc weer, dan wordt dus de rijspanning omgekeerd. D1 komt in gelei-

ding en nu wordt railstuk x de 0. Daardoor gaat TS1 weer dicht. Het relais valt weer af.
Het is in deze schakeling eigenlijk helemaal niet nodig om een relais te gebruiken. Met nog een extra transistor kunnen we precies hetzelfde bereiken (zie afb. 7-11).
De diode heeft weer dezelfde functie als in de twee voorgaande schakelingen. Eerst bekijken we de situatie weer als er geen trein op de stopsectie x aanwezig is. TS1 is dicht. De rode seinlamp is in de collectorleiding van TS1 aangebracht en zal dus niet branden. Daardoor is punt A + 12 V. TS2 kan nu via R2 wél stroom trekken en zal dus in geleiding zijn. Deze transistor bedient de groene seinlamp en deze zal dus branden. Het spoor is vrij.

ONDERDELENLIJST

R1	560 Ω
R2	150 Ω
TS1	2N2219
TS2	2N2219
D	1N4001
L1	12 V/50 mA
L2	12 V/50 mA



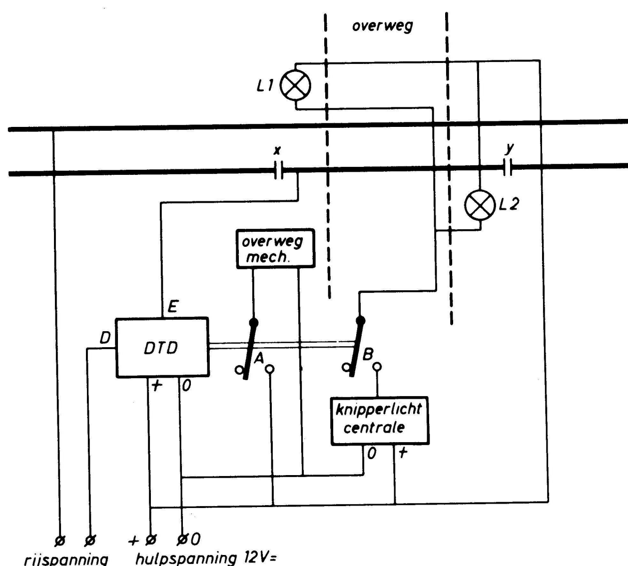
Afb. 7-11. Automatische seinlichtwisseling bij een kopspoor zonder relais.

Zodra er een trein op x komt, gaat TS1 open. De rode lamp gaat branden. Punt A gaat nu naar vrijwel 0 V, waardoor TS2 dicht gezet wordt. De groene lamp gaat uit. Wordt nu de rijspanning omgedraaid, dan gaat TS1 weer dicht (rode licht uit) en TS2 open (groene licht weer aan). Op deze manier hebben we dus zonder relais hetzelfde bereikt. Een transistor is heel wat goedkoper dan een relais, zodat deze methode veel voordeliger is.

Automatische bediening van overwegbomen of AHOB

AHOB is de algemeen gebruikelijke afkorting voor Automatische Halve Overweg Bomen.
Ook op de modelbaan zullen deze zeker voorkomen. De bediening van deze AHOB of van hele overwegbomen kunnen we gemakkelijk automatiseren. Hier-

voor is de DTD weer uitermate geschikt. We hebben er maar één nodig. In afb. 7-12 is de schakeling getekend voor een enkelsporig baanvak dat in beide richtingen bereden wordt. We gebruiken in dit geval een DTD met relais.
x-y is de DTD-sectie. Deze loopt van ca. 20 cm vóór tot 20 cm áchter de overweg. Contact A van het relais bedient het mechanisme van de overwegbomen, terwijl contact B dan beschikbaar is voor de knipperlichten. De benodigde knipperlichtcentrale komt in het volgende hoofdstuk aan de orde.
Zodra de loc punt x passeert, trekt het relais aan, waardoor het mechanisme van de bomen in werking komt en tevens de rode waarschuwingslichten gaan knipperen. Komt de trein van de andere kant, dan komt het geheel in werking zodra de loc y passeert.



Afb. 7-12. Automatische bediening van een overweg.

Pas als de laatste wagon punt y (of in het omgekeerde geval, x) voorbij is, gaan de bomen weer open en doven de lichten. Dit is nu juist weer het voordeel van de DTD. Deze bepaalt immers zelf de lengte van de passerende trein.
Bij gebruik van een vast mechanisch contact moet dit tweede contact, dat de bomen dus moet openen, zover áchter de overweg aangebracht worden, dat de langste trein de overweg helemaal verlaten heeft, voordat dit contact een signaal afgeeft. Bij het passeren van een enkele loc zonder wagons blijven de bomen dan onnodig lang dicht. Het gebruik van de DTD heft dit bezwaar volledig op.

8. Scenery

8.1. „Elektronische" scenery

De scenery of het decor van een modelbaan is minstens even belangrijk als rails, wissels en treinen zelf. Tot de scenery rekenen we alles wat op de baan voorkomt, maar niet direct te maken heeft met het rijden van de trein. Wissels, rails e.d. behoren dus niet tot de scenery, maar het landschap, bergen, tunnels, bruggen, huizen, fabrieken, molens, enz. wél.
We kunnen ons nu natuurlijk niet gaan bezighouden met dit soort zaken, hoe belangrijk ze ook zijn. Over dit onderwerp zijn al voldoende uitstekende handboeken verschenen. We bepalen ons hier tot de zgn. „elektronische scenery". Dat zijn elektronische schakelingen die het decor van de baan wat opvrolijken en nog natuurgetrouwer maken. Zonder deze schakelingen gaat het decor van onze baan al gauw op een saai stilleven lijken. De treinen rijden dan door een wel erg „doodse" omgeving.
Met een aantal schakelingen gaan we wat leven in de brouwerij brengen.

8.2. De knipperlichtcentrale

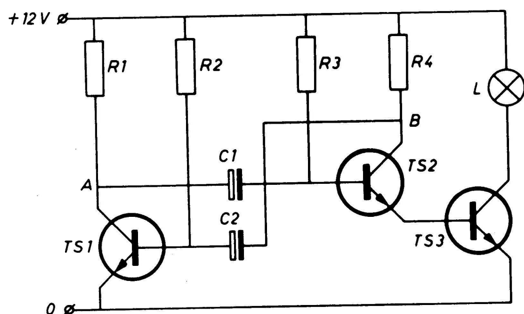
Algemeen

De knipperlichtcentrale behoort wel tot de belangrijkste hulpmiddelen van de „elektronische scenery".
Knipperlichten komen we ook in het dagelijks leven herhaaldelijk tegen. Rode waarschuwingslichten bij een brug of overweg, knipperende oranje stoplichten, enz. Ook bij allerlei soorten reclameborden zien we aan-en-uit-flitsende lampen in vaak heel ingewikkelde patronen.
Er zijn diverse soorten knipperautomaten in de handel. Om te beginnen, vinden we er al een in iedere auto. Dat is de zgn. clignoteur. Een dergelijke automaat berust op het bimetaalprincipe (zie par. 6.2). Een weerstandsdraad verwarmt het bimetaal. In serie met deze verwarmingswikkeling zijn de lampen van de richtingaanwijzers opgenomen. Deze lampen trekken een grote stroom, zodat het bimetaal snel heet wordt. Het bimetaal trekt krom en het contact verbreekt de stroom door de draad en de lampen. Als het bimetaal iets afgekoeld is, sluit het contact weer en alles begint opnieuw.
Een groot nadeel van dit type automaat is dat de knipperfrequentie afhankelijk

is van de stroom door de weerstandswikkeling. In de auto is dat niet erg, daar is het aantal lampen toch steeds gelijk. Maar op de spoorbaan is het erg hinderlijk. Het aantal op de automaat aangesloten lampen kan daar nogal wisselen zodat ook steeds het ritme verandert.
We bespreken daarom hier een aantal elektronische knipperautomaten die dit euvel niet hebben. Bij deze schakelingen maakt het, wat betreft de frequentie, niets uit hoeveel lampjes er door gevoed worden.

Eenvoudige knipperautomaat met transistoren

In afb. 8-1 zien we het schema van deze automaat. In feite is het gewoon een a-stabiele multivibrator. TS1 en TS2 gaan steeds beurtelings open en dicht. Laten we beginnen op het moment dat TS1 open gaat. Punt A gaat dan plotseling van + 12 V naar vrijwel 0 V. Deze negatiefgaande sprong heeft tot gevolg dat de basis van TS2 via C1 negatief wordt. TS2 gaat daardoor dicht. De lading van C1 verandert door R3.



ONDERDELENLIJST

C1	16 μF
C2	16 μF
R1	2200 Ω
R2	47 kΩ
R3	47 kΩ
R4	47 kΩ
TS1	BC 107
TS2	BC 107
TS3	2N3055
L	12 V/50 mA

Afb. 8-1. Knipperlichtcentrale met transistoren.

Na verloop van tijd zal de basis van TS2 weer positief worden. TS2 komt daardoor weer in geleiding en nu gaat punt B opeens naar 0. Via C2 wordt TS1 nu dichtgezet. C2 ontlaadt zich weer via R2. Na enige tijd gaat TS1 weer open en daardoor TS2 weer dicht, enz. De schakeling oscilleert. De frequentie wordt bepaald door de combinaties C1R3 en C2R2. De tijd t_1 dat TS1 in geleiding is, vinden we met de formule:

$$t_1 = 0{,}7 \cdot C_1 \cdot R_3$$

en de tijd t_2 voor TS2:

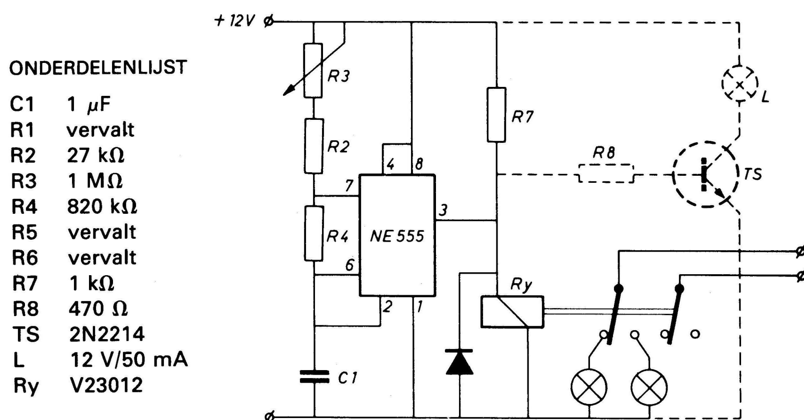
$$t_2 = 0{,}7 \cdot C_2 \cdot R_2$$

Maken we $C_1 = C_2$ en $R_2 = R_3$, dan is $t_1 = t_2$. De tijd dat het lampje brandt, is gelijk aan de donkere periode.
Met de aangegeven componenten zullen er ongeveer 70 flitsen per minuut af-

gegeven worden. Dat is een redelijke frequentie voor de modelbaan. De emitter van TS2 is verbonden met de basis van TS3. Zolang TS2 in geleiding is, kan ook TS3 stroom trekken en zullen de in de collectorleiding van TS3 opgenomen lampjes branden.
TS3 is weer een zware vermogenstransistor, zodat er heel wat lampjes tegelijk bediend kunnen worden.

Knipperlichtcentrale met de NE 555

Zoals we in het voorgaande al hebben gezien, is de NE 555 heel goed te gebruiken als a-stabiele multivibrator.
De werking van de NE 555 is in par. 3. 8 al voldoende besproken, zodat we daar nu niet verder op in hoeven te gaan.



Afb. 8-2. Wissel-knipperlichtcentrale met de NE 555. (Printontwerp zie afb. 7-2.)

Voor deze schakeling kunnen we dezelfde print gebruiken als voor de tijdschakelaar van afb. 7-1. Gebruiken we de uitvoering met relais, dan hebben we een zgn. wissel-knipperlichtcentrale gekregen (zie afb. 8-2). Twee lampen, aangesloten op het wisselcontact zullen nu afwisselend branden. Een dergelijke automaat wordt ook vaak gebruikt bij een AKI (Automatische Knipperlicht Installatie).

8.3. Opvallende reclames

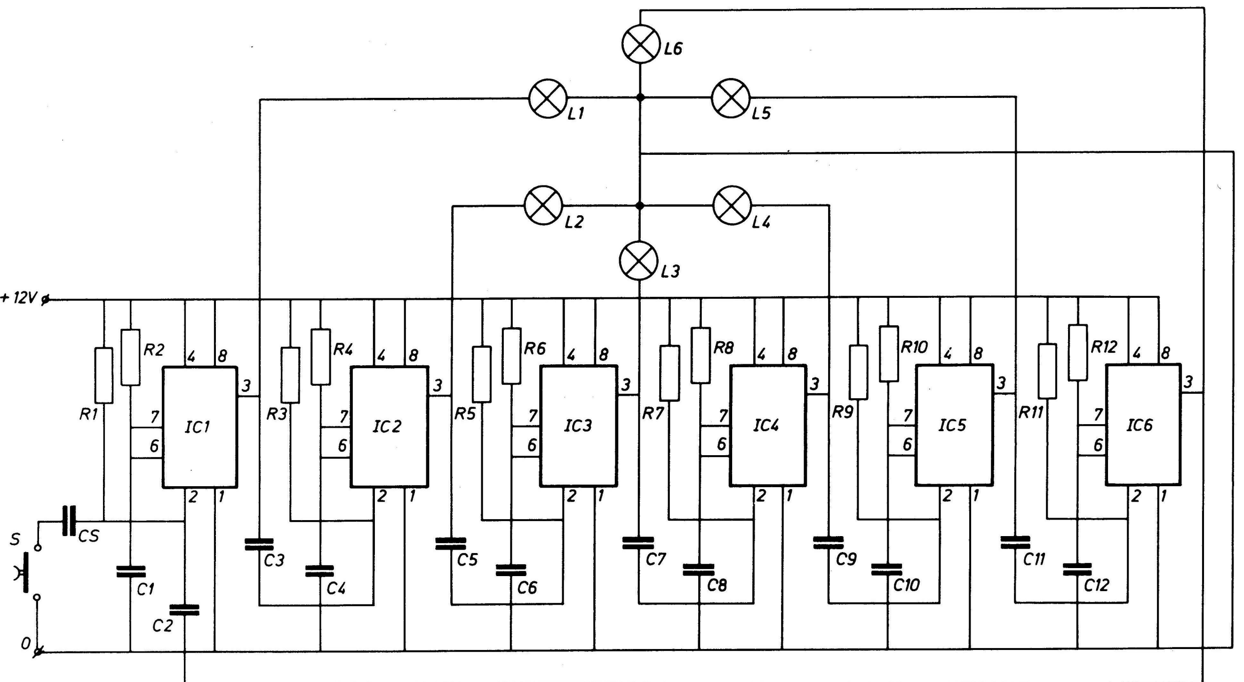
Reclameborden doen het op de modelbaan altijd erg goed. Vooral als ze nog verlevendigd worden met aan-en-uit-flitsende lampjes. De beschreven knipperautomaten zijn hiervoor uitstekend te gebruiken.
Maar we kunnen meer doen dan alleen maar lampen aan-en-uit laten gaan. Hieronder volgen een tweetal interessante schakelingen voor reclamedoeleinden.

„Rondlopende" knipperlichtcentrale

Aangezien de NE 555 betrekkelijk goedkoop is en een redelijk grote stroom kan leveren, kunnen we het ons wel veroorloven er een aantal te gebruiken voor een heel grappig reclamebord.
De reclame zelf bestaat uit een ronde schijf met aan de rand daarvan bijv. 6 lampjes. Ieder lampje wordt gestuurd door een aparte tijdschakelaar. In afb. 8-3 zien we hoe een en ander geschakeld wordt.
De triggeringang 2 van IC2 is via C3 verbonden met uitgang 3 van IC1. Uitgang 3 van IC2 is via C5 verbonden met ingang 2 van IC3, enz. Tot slot is de uitgang van de laatste trap (IC6) via C2 verbonden met de ingang van IC1.
Alle triggeringangen zijn met een weerstand verbonden aan de + 12 V zodat na het inschakelen van de voedingsspanning geen enkele timer zal starten. Alle lampjes zijn dus uit.
Drukken we nu even op de startknop S, dan geven we daarmee een negatiefgaande impuls op de ingang van IC1. De uitgang hiervan zal hoog gaan en lampje L1 gaat branden. Na afloop van de door R2 en C1 bepaalde tijd gaat punt 3 van IC1 weer naar 0 V en L1 dooft.
De negatiefgaande sprong bereikt via de koppelcondensator de triggeringang van IC2. Deze start en nu gaat L2 branden. Na enige tijd gaat ook dit lampje weer uit en licht L3 op.
Er brandt dus steeds maar 1 lampje. Als het ene uitgaat, licht op hetzelfde moment het volgende op. Het lijkt of het licht wordt „doorgegeven". Door het 0 worden van de uitgang van IC6 wordt IC1 weer gestart, zodat alles van voren af aan begint.
Doordat de lampjes in een cirkel geplaatst zijn, lijkt het net of een lichtpunt in het rond gaat draaien. Tenminste als we de tijden niet te lang kiezen.
Met de aangegeven componenten brandt ieder lampje ongeveer 100 ms zodat de hele cyclus ca. 0,6 s in beslag neemt. Kortere tijden zijn niet aan te bevelen, omdat de gloeilampjes dan nauwelijks tijd krijgen om voldoende fel op te lichten.
Met meer lampjes, en uiteraard idem zoveel meer NE 555's, kunnen we heel ingewikkelde figuren maken. Rechthoeken, achten, spiralen, enz. De werking blijft precies gelijk. Zoals al uit afb. 8-3 blijkt, is iedere trap precies gelijk. De laatste trap verbinden we steeds met de eerste zodat de keten gesloten is en de hele zaak steeds door blijft gaan.

„Aangroeiende" reclame

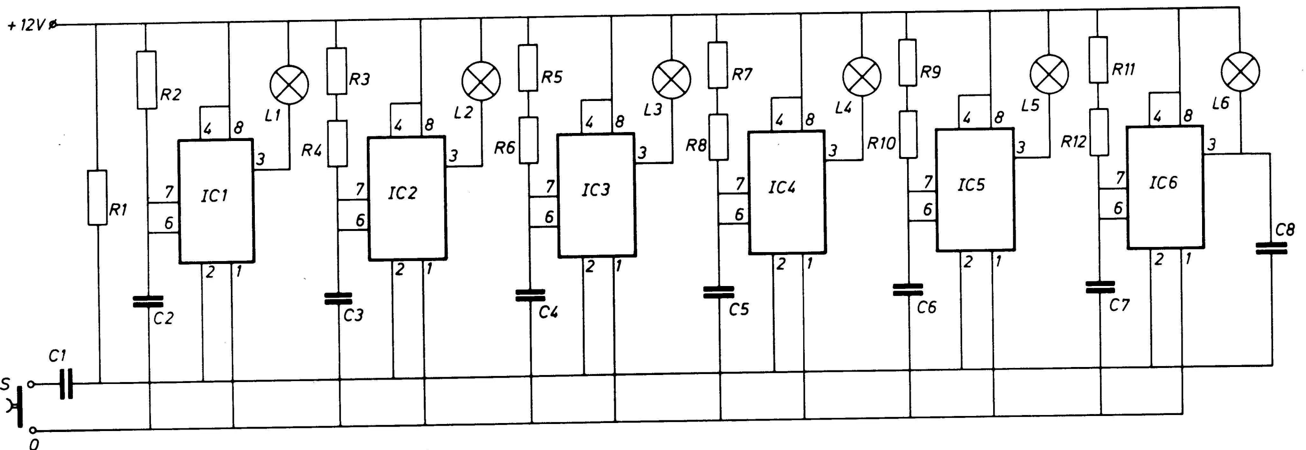
Hiermee bedoelen we een serie lampjes, waarvan er eerst 1, dan 2, vervolgens 3 enz. gaan branden tot ze allemaal aan zijn, waarna de hele reeks dooft en de cyclus opnieuw begint. Ook dit is met de NE 555 eenvoudig te realiseren. De schakeling is weergegeven in afb. 8-4.
De lampjes worden nu aangesloten tussen uitgang 3 van het IC en de + 12 V.



Afb. 8-3. „Rondlopende" knipperlichtcentrale.

ONDERDELENLIJST

Cs, C2, C3, C5, C7, C9, C11	0,1 μF
C1, C4, C6, C8, C10, C12	1 μF
R1, R3, R5, R7, R9, R11	27 kΩ
R2, R4, R6, R8, R10, R12	100 kΩ
L1 t/m L6	12 V/50 mA



Afb. 8-4. „Aangroeiende" reclame.

ONDERDELENLIJST

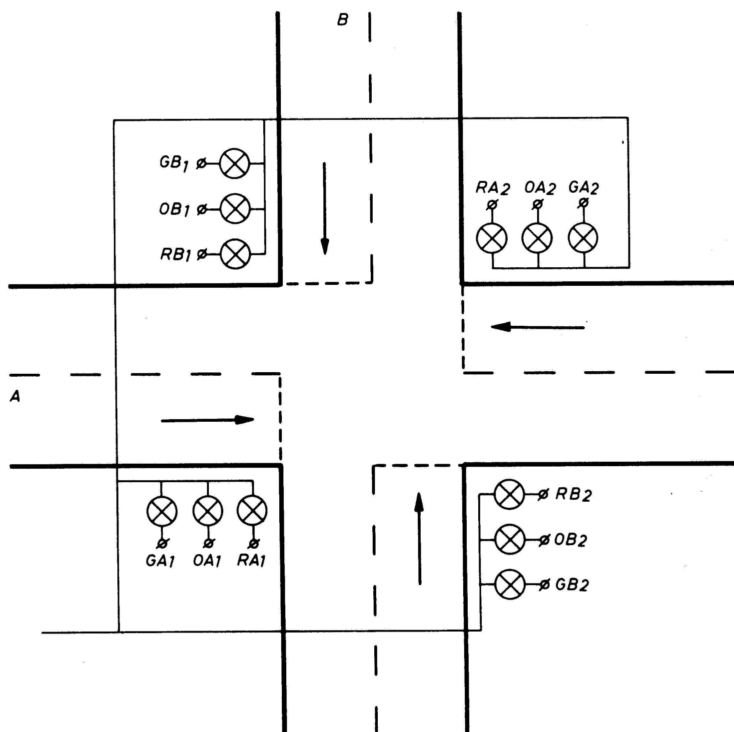
C1	0,1 μF	R6	33 kΩ
C2 t/m C7	1 μF	R7	220 kΩ
C8	0,1 μF	R8	180 kΩ
R1	27 kΩ	R9	470 kΩ
R2	100 kΩ	R10	33 kΩ
R3	180 kΩ	R11	270 kΩ
R4	22 kΩ	R12	330 kΩ
R5	270 kΩ	L1 t/m L6	12 V/50 mA

Na het inschakelen van de voedingsspanning zijn alle IC's in rust, zodat alle lampjes tegelijk branden. De tijdschakelaars zijn nu zó geschakeld, dat na het indrukken van startknop S alle IC's een startimpuls krijgen en zullen starten. Alle uitgangen gaan tegelijk naar + 12 V zodat de hele serie lampjes uitgaat.
De looptijd van de trappen is verschillend. IC1 zal als eerste terugkeren in zijn ruststand. Daardoor gaat L1 branden. Korte tijd later valt ook IC2 uit. L2 licht ook op. Zo gaat het door, tot alle tijdschakelaars weer afgevallen zijn en de gehele reeks lampjes brandt. Maar zodra ook de laatste trap afvalt (uitgang 3 van IC6 gaat dan van + 12 V naar 0 V), worden alle IC's weer gestart, omdat de negatiefgaande puls via de koppelcondensator op de triggeringangen verschijnt. De gehele reeks lampjes dooft weer en de cyclus begint opnieuw. Het zesde lampje doet dus eigenlijk niet mee. Zodra het wil gaan branden, wordt ook IC6 opnieuw gestart. Dit gaat zó snel, dat het lampje niet eens even opgloeit.
Willen we toch een keten van 6 lampjes hebben, dan zijn we genoodzaakt 7 IC's te gebruiken. Deze laatste trap dient alleen maar om de keten steeds opnieuw te starten en heeft dus geen lampje.
De diverse tijdsbepalende weerstanden moeten met zorg worden gekozen. Voor het mooiste effect moet de keten regelmatig „aangroeien". Daarom is deze weerstand in afb. 8-4 steeds opgebouwd uit twee afzonderlijke weerstanden in serie. Op deze manier kunnen we de gewenste waarde vrij dicht benaderen. De eerste weerstand is 100 kΩ. De tweede is een serieschakelingen van 180 en 22 kΩ. Samen dus 202 kΩ. Dit is een fout van maar 1%. De derde bestaat uit 270 kΩ + 33 kΩ = 303 kΩ, enz.
Uiteraard kunnen we ook nog een combinatie van de twee beschreven systemen maken. De verdere uitvoering van de reclames laten we graag aan ieders fantasie over.

8.4. Verkeerslichtinstallatie

Het verkeer op de weg zou een grote chaos worden als er op de drukke kruispunten geen verkeerslichten zouden staan.
Aangezien we op onze modelbaan alles zo natuurgetrouw mogelijk willen nabootsen, moeten we daar de drukke verkeersknooppunten ook voorzien van een dergelijke installatie. Dit is echter gemakkelijker gezegd dan gedaan. Het vergt een vrij ingewikkelde schakeling. De stoplichten zijn in de handel verkrijgbaar maar kunnen ook door de handige knutselaar zelf worden gemaakt.
We houden ons nu alleen bezig met de sturing van de lampjes. Dat zijn er heel wat. Elke paal heeft er drie nl. rood, geel en groen. We bespreken hier een zgn. enkelvoudige installatie. Deze bestaat uit twee elkaar kruisende wegen van gelijke orde, zonder speciale voorzieningen voor afslaand verkeer. Het principe daarvan is in wezen hetzelfde, alleen is de schakeling veel ingewikkelder. In afb. 8-5 is de situatie getekend. We hebben de wegen A en B. Op iedere hoek komt een stoplicht. In totaal zijn er dan 4 × 3 = 12 lampjes die gestuurd moeten worden.

Om het geheel wat overzichtelijker te maken, geven we elk lampje een eigen codenummer bestaande uit twee letters en een cijfer. De eerste letter geeft de kleur aan, de tweede de weg waartoe het lampje behoort, A of B. Het cijfer 1 of 2 geeft aan in welke paal de lampjes zich bevinden.



Afb. 8-5. Kruispunt met enkelvoudige verkeerslichtinstallatie.

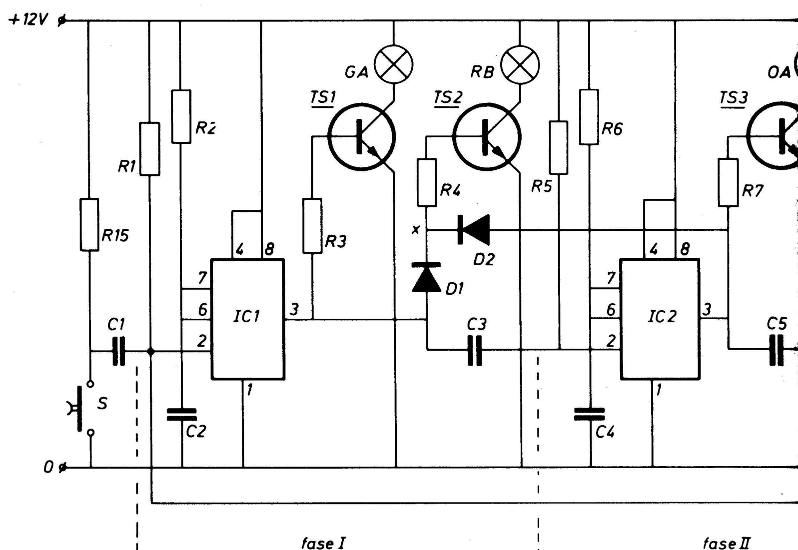
Omdat we hier te maken hebben met een enkelvoudige installatie zullen bijvoorbeeld de lampjes GA1 en GA2 steeds tegelijk branden. Zo ook RA1 en RA2, enz. In het schema van de stuurschakeling laten we die cijfers dus maar weg en tekenen er steeds maar één, anders wordt het geheel té onoverzichtelijk.
In afb. 8-5 zien we de bedrading van de lampjes. Alle lampjes zijn aan de ene kant verbonden met de + 12 V. De andere aansluitingen gaan naar de stuurschakeling. Daar vinden we dan weer dezelfde letters OA, RB, GB, enz.
We kunnen de cyclus van de installatie verdelen in vier fasen, nl.:

Fase	Lampjes	
	aan	uit
I	GA	RA,OA
	RB	GB,OB
II	OA	GA,RA
	RB	GB,OB
III	RA	GA,OA
	GB	RB,OB
IV	RA	GA,OA
	OB	GB,RB

Na fase IV volgt automatisch fase I weer.
We zien dat er dus steeds maar twee lampjes tegelijk branden in iedere fase (in werkelijkheid 4, als we de cijfers 1 en 2 weer toevoegen). De diverse lampen moeten steeds een bepaalde tijd blijven branden, zodat het voor de hand ligt hiervoor de NE 555 als tijdschakelaar te gebruiken. Er zijn in totaal 4 fasen dus we hebben er vier nodig. In afb. 8-6 zien we het complete schema van de stuurschakeling. De maximale stroom die de NE 555 mag leveren, is 200 mA, dus net iets te weinig om alle lampjes te sturen. Daarom zijn er transistoren toegevoegd om de lampjes te sturen. Dit heeft nog een bijkomend voordeel, zoals we straks zullen zien.

Na het inschakelen van de voedingsspanning zijn alle IC's nog in rust en de uitgangen laag. Geen enkel lampje zal dus branden. Met drukschakelaar S geven we een startimpuls op de triggeringang van de IC, waardoor fase I gestart wordt. De uitgang 3 van dit IC gaat hoog, TS1 kan via R3 stroom trekken en GA brandt. Via R4 en D1 krijgt TS2 basisstroom en ook de lampjes RB zullen branden. Na afloop van de door R2 en C2 bepaalde tijd gaat de uitgang van IC1 weer naar 0. Via C3 bereikt deze negatiefgaande spanningssprong de triggeringang 2 van IC2 waardoor fase II gestart wordt. TS1 krijgt geen sturing meer en GA gaat uit. Uitgang 3 van IC2 gaat hoog. Via R7 krijgt TS3 sturing en OA gaat branden. Maar ook RB blijft aan, omdat TS2 nu via D2 en R4 basisstroom krijgt. Na afloop van de tijd $R_6 \cdot C_4$ gaat de uitgang van IC2 weer naar 0. Zowel RB als OA doven en TS4 en TS5 krijgen sturing via resp. R10 en de combinatie D3/R11. Nu branden dus de lampen GB en RA. Als de derde fase afgelopen is, dooft GB en branden RA en OB. Na enige tijd zal ook IC4 weer in de ruststand komen en de negatiefgaande sprong op uitgang 3 start fase I opnieuw en alles begint van voren af aan.
We kunnen nu de tijdsduur van de verschillende fasen naar eigen behoefte instellen. De gele fasen, II en IV dus, moeten wel ongeveer gelijk zijn. In werkelijkheid branden de gele lichten ca. 3 seconden. Als we voor C4 en C8 condensa-

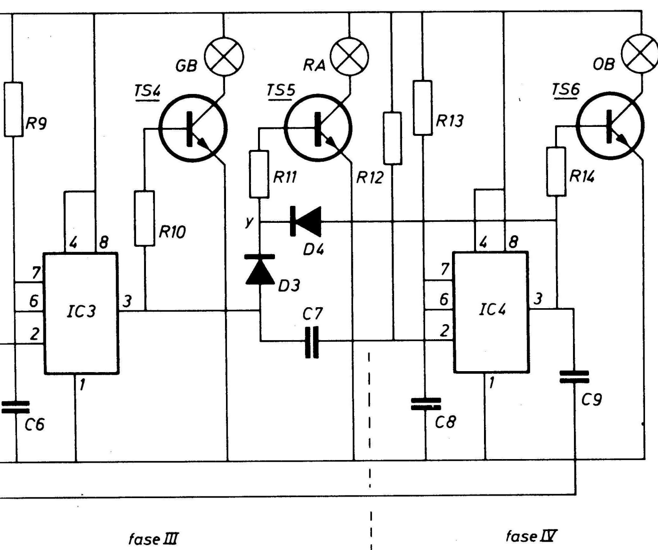
toren van 1 μF nemen, moeten de weerstanden R6 en R13 een waarde hebben van 2,7 MΩ.
De tijdsduur van fase I mag gerust verschillen van fase III. Dit hangt af van de belangrijkheid van de wegen. Is weg A een hoofdverkeersader, en weg B een onbelangrijk achterafstraatje dan moet fase I veel en veel langer worden dan fase III.
Aangezien laatstgenoemde fasen veel langer moeten zijn dan de gele, nemen we voor C2 en C6 elco's van 50 μF. Met een laadweerstand van 5 MΩ bereiken we dan een tijd van ca. 275 s = ruim 4,5 min. Voor de meeste toepassingen zal dit lang genoeg zijn. De schakeling volgens afb. 8-6 geeft al een heel realistische situatie, maar toch nog niet helemaal volgens de werkelijkheid. De situatie is nu zo, dat wanneer de lichten op weg A op rood springen de lichten voor B tegelijkertijd groen worden.



Afb. 8-6. Elektronische stuurschakeling van een enkelvoudige verkeerslichtinst

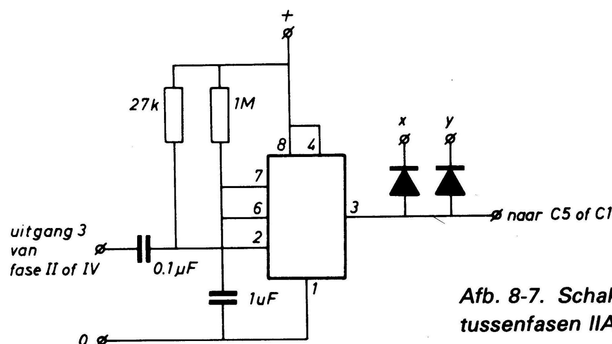
Een verkeerszondaar die op weg A nét door rood glipt, loopt de kans in botsing te komen met een heel snel optrekkende auto op weg B. Om dit te voorkomen, moeten we nog twee fasen toevoegen. Deze noemen we IIA en IVA. Gedurende deze tussenfasen staan alle lichten op rood. Het spreekt vanzelf, dat dit maar heel kort mag duren. Om dit te realiseren, hebben we nog twee extra NE 555 IC's nodig. In afb. 8-7 is zo'n tussenfase getekend. De triggeringang 2 van zo'n tussenfase wordt weer gestuurd door de uitgang 3 van de voorgaande via een koppelcondensator. Voor fase II-A is dat dus punt 3 van IC2. De twee dioden aan de uitgang van een tussenfase worden verbonden met de punten x en y (zie afb. 8-4). Op deze punten komen dan uiteindelijk in totaal 4 dioden samen.

De lampen RB branden dus tijdens het hoog zijn van resp. IC1, IC2, IC2A en IC4A. Voor RA zijn dat: IC2A, IC3, IC4 en IC4A. De tijd van een tussenfase behoeft niet meer te zijn dan ca. 1 s zodat we met eėn condensator van 1 μF en een weerstand van 1 MΩ toe kunnen.
De sturing van TS2 en TS5 is in feite een zgn. „logische schakeling" en wel een „OF"-poort. TS2 wordt gestuurd door D1 óf D2 óf door de dioden van de tussenfasen. Dit soort logische schakelingen komt bij ingewikkelde beveiligings- en signaleringsschakelingen veelvuldig voor. In deel 2 komen we daar nog heel uitvoerig op terug.
Natuurlijk zijn er op het gebied van de scenery nog heel wat meer interessante schakelingen te bedenken. Door zelf wat te experimenteren, kan iedereen de werkelijkheid op zijn baan zoveel mogelijk trachten na te bootsen.



ONDERDELENLIJST

C1	0,1 μF
C2	50 μF
C3	0,1 μF
C4	1 μF
C5	0,1 μF
C6	50 μF
C7	0,1 μF
C8	1 μF
C9	0,1 μF
R1	27 kΩ
R2	zie tekst
R3	1 kΩ
R4	1 kΩ
R5	27 kΩ
R6	2700 kΩ
R7	1 kΩ
R8	27 kΩ
R9	zie tekst
R10	1 kΩ
R11	1 kΩ
R12	27 kΩ
R13	2700 kΩ
R14	1 kΩ
R15	27 kΩ
TS1 t/m TS6	2N2219
D1 t/m D4	1N914



Afb. 8-7. Schakeling van de tussenfasen IIA en IVA.

9. Diversen

9.1. De gedrukte bedrading of print

Algemeen

Vrijwel iedereen zal wel eens een modern radio- of televisietoestel van binnen hebben gezien. Het meest opvallende is dan wel de grote plaat waarop de onderdelen zijn bevestigd. Deze plaat heeft in hoofdzaak twee functies. In de eerste plaats dient hij als drager voor de onderdelen zoals weerstanden, condensatoren, transistoren, buizen, enz. Al deze onderdelen moeten volgens een bepaald schema met elkaar worden verbonden. Dat is de tweede functie van deze plaat.

Het gehele bedradingspatroon is namelijk vast op deze plaat aangebracht. Vandaar de naam „gedrukte bedrading". Vóór de invoering van deze platen moesten alle onderdelen door middel van losse draden met elkaar worden verbonden, en dat was nogal bewerkelijk. Bij de gedrukte bedrading worden de diverse doorverbindingen gevormd door dunne stripjes koper die op de plaat zijn aangebracht. Dit houdt direct in dat de plaat gemaakt moet zijn van een isolerend materiaal.

Het gebruik van gedrukte bedradingen heeft een aantal grote voordelen t.o.v. de „losse" bouwwijze. Vooral bij grote aantallen, zoals bij radio's en televisietoestellen het geval is, vergemakkelijkt het de montage. Alle prints zijn precies hetzelfde. De onderdelen kunnen worden gemonteerd door minder geschoold personeel. De kans op montagefouten is vrijwel nihil. Dit alles verlaagt de produktiekosten. Ook levert de toepassing van gedrukte bedrading een enorme ruimtebesparing.

Van een aantal in dit boek voorkomende schakelingen is ook een ontwerp van de gedrukte bedrading opgenomen. Natuurlijk doen we dit niet met het oogmerk de kosten te drukken. Voor ons is het eigenlijk duurder. Ook het argument van de ruimtebesparing gaat bij ons niet op. Naast of onder de baan hebben we meestal een zee van ruimte.

De reden dat we toch gedrukte bedradingen toepassen is, dat die schakelingen zonder moeite gebouwd kunnen worden door de minder elektronisch geschoolden onder ons. Wanneer de aanwijzingen voor de bouw nauwkeurig worden opgevolgd, is de kans op een mislukking vrijwel uitgesloten. Voordat we overgaan tot de gedetailleerde bespreking van de diverse ontwerpen afzonderlijk

volgt hier een algemeen overzicht van de diverse materialen en fabricagemethoden.

Het basismateriaal

De basis voor een gebruikte bedrading bestaat uit een plaat isolatiemateriaal. Hiervoor worden diverse materialen gebruikt zoals:

a. phenol-papier (Pertinax);
b. polyester-glasvezel;
c. epoxy-papier;
d. epoxy-glasvezel;
e. teflon-glasvezel.

Voor ons zijn alleen Pertinax en epoxyglas van belang. De andere materialen zijn voor amateurdoeleinden veel te duur. Ook tussen de twee genoemde materialen is de keus niet zo moeilijk. Epoxyglas is ongeveer tweemaal zo duur als Pertinax. Uiteraard zijn de elektrische en mechanische eigenschappen van epoxyglas veel beter, maar voor ons doel is Pertinax meestal goed genoeg. De dikte van deze basisplaat is meestal 1,5 à 1,6 mm. Op deze plaat wordt door de fabrikant een egale laag koper aangebracht met een dikte van 35 micron (0,035 mm). Deze koperlaag wordt met speciale lijmsoorten en onder hoge druk vastgezet. De bedrading mag later natuurlijk nooit losspringen. Er is ook printplaat in de handel met een koperlaag van 70 micron, maar dat is voor ons doel niet nodig.

Wat de hechting van de koperlaag betreft, wint het epoxyglas het duidelijk van het Pertinax. Het komt bij Pertinax nog wel eens een enkele keer voor, dat bij gebruik van een te hete soldeerbout een klein stukje van de bedrading losspringt.

De bewerking

Aan zo'n plaat met een egale koperlaag hebben we natuurlijk nog niet veel. Door middel van diverse technieken wordt een deel van de koperlaag verwijderd, zodat alleen de nodige bedrading overblijft.
De meest gebruikte methode om het overtollige koper te verwijderen is wegetsen. Dat gebeurt dan meestal in een oplossing van ijzerchloride (meestal ferrichloride genoemd) of ammoniumpersulfaat. Het koper dat moet blijven zitten, de eigenlijke bedrading dus, wordt van te voren bedekt met een laagje etsvaste lak ook wel ets-resist genaamd.
De gang van zaken is nu als volgt:

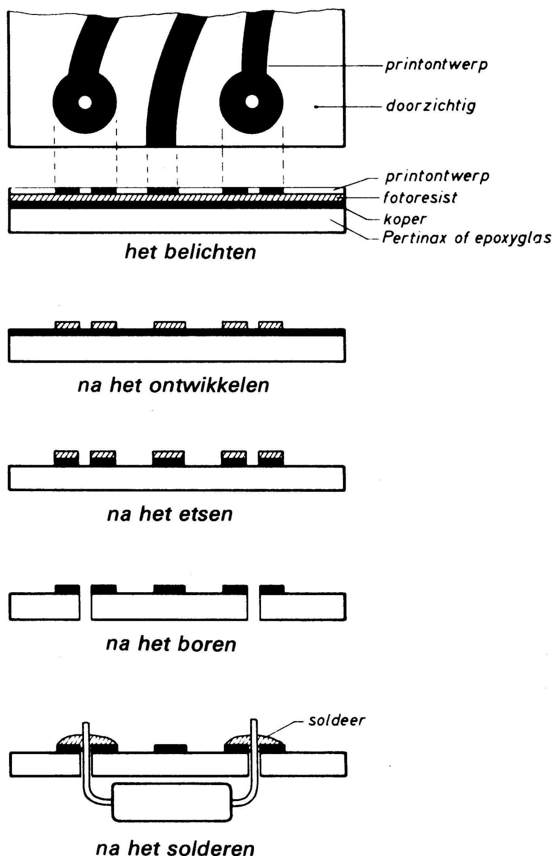
1. Van het schema wordt een lay-out of printontwerp gemaakt. Dat is dus een tekening van het bedradingspatroon.
2. Dit ontwerp wordt op de koperlaag overgebracht. Ook hiervoor zijn diverse methoden, waar we in deel 2 uitvoeriger op terugkomen. De gedeeltes die moeten blijven zitten, zijn nu beschermd door een laagje etsvaste lak.
3. In het etsbad lost daarna al het onbeschermde koper op. De bedrading staat nu in koper op de basisplaat.
4. Na het grondig verwijderen van de resten etsmiddel wordt ook de ets-resist met het een of andere oplosmiddel weggehaald.
5. Tot slot worden de nodige gaatjes geboord en kunnen de onderdelen op hun plaats worden vastgesoldeerd.

De eerste stap is meestal niet bepaald de eenvoudigste. Het ontwerpen van een gedrukte bedrading vergt veel tijd en ervaring.
Aangezien de bedrading in een plat vlak moet worden gerealiseerd, kunnen de sporen elkaar nooit kruisen. Vandaar dat een bepaald spoor vaak in de meest fantastische kronkels over de plaat loopt. Om dit te omzeilen, neemt men vaak zijn toevlucht tot een zgn. dubbelzijdige print. Men gaat daarbij uit van een plaat die aan beide zijden is bedekt met een koperlaag. De totale bedrading wordt dan verdeeld over beide kanten zodat men meer mogelijkheden heeft. Voor amateurs is het maken van een dergelijke print vrijwel niet te doen. Het is trouwens ook niet nodig omdat de prints meestal niet zo bar ingewikkeld zijn.
Voor het aanbrengen van het printontwerp op het koper, zijn ook diverse methoden, nl.:

1. *Zeefdrukken*
Door middel van een speciaal drukprocédé wordt het bedradingspatroon in etsvaste inkt op het koper aangebracht. In de industrie is dit wel de meest toegepaste methode, tenminste voor grote aantallen. Voor amateurdoeleinden is dit procédé niet bruikbaar.

2. *Tekenen met etsvaste inkt*
Tegenwoordig zijn er pennen in de handel, waarmee we het gewenste bedradingspatroon gewoon op het, van te voren grondig schoon en vetvrij gemaakte koper kunnen tekenen. Deze pennen, eigenlijk een soort viltstiften, hebben een vrij dunne en goed slijtvaste punt.

De inkt droogt vrij snel en is goed etsvast. Een bezwaar van deze methode is, dat we iedere print afzonderlijk moeten tekenen. Zodra er dus meer prints van hetzelfde patroon gemaakt worden, is deze manier veel te omslachtig. We zijn er dan ook niet meer van verzekerd, dat iedere print precies hetzelfde is. Een tekenfoutje is gauw gemaakt.



Afb. 9-1. Dwarsdoorsnede van een gedrukte bedrading in diverse fabricagestadia.

3. *Fotografisch*

Voor kleine produktieseries en amateurdoeleinden is dit wel de beste methode. Het printontwerp of de lay-out moet bij deze werkwijze geheel of gedeeltelijk doorzichtig zijn. Met deze methode kunnen we twee kanten op, nl. het positieve of negatieve procédé.

Bij de positieve methode moet het printontwerp op dié plaatsen waar het koper weggeëtst moet worden doorzichtig zijn. Het bedradingspatroon is dan zwart of in ieder geval voor de soort licht waar we mee werken, niet doorlaatbaar. Bij de negatieve methode is alles net andersom (patroon doorzichtig en de rest zwart).

4. *Geplakt ontwerp*

Hiervoor hebben we nodig speciale tapes, zgn. crèpe-tapes. Dat zijn zwarte of rode zelfklevende tapes, waarmee we het gewenste patroon direct op het scho-

ne koper aanbrengen. Voor de soldeerpunten gebruiken we dan, eveneens zelfklevende, cirkeltjes. Voor deze methode geldt hetzelfde als voor methode 2.

De fotografische methode

Aangezien deze methode voor amateurdoeleinden het meest geschikt is, gaan we op deze methode wat dieper in.
Het benodigde basismateriaal kunnen we kant-en-klaar kopen, zowel positief als negatief werkend. Bij deze printplaten is op het koper een tweede laag, de fotogevoelige laag (kortweg fotoresist genoemd) aangebracht. Deze fotoresist is alleen gevoelig voor ultraviolet licht. Dat maakt de verwerking van dit materiaal aanmerkelijk eenvoudiger.
We hoeven niet steeds in een donkere kamer te werken, diffuus daglicht of gloeilamplicht heeft weinig invloed op de fotoresist. TL-verlichting is minder onschuldig, terwijl we natuurlijk nooit in de felle zon mogen werken. De print moet worden belicht met een UV-lichtbron. Hiervoor is een normale hoogtezon prima geschikt. Als we niet de beschikking hebben over een hoogtezon, kunnen we ook nog in gewoon zonlicht werken. Maar ja, die schijnt in ons landje lang niet altijd, dus is een kunstzon gemakkelijker. Om een goede, scherpe afdruk te krijgen, moet het printontwerp stevig op de fotogevoelige laag worden gedrukt. Onscherpe afdrukken geven na het etsen rafelige printsporen met een grote kans op storingen. We kunnen daarom het beste de printplaat samen met het ontwerp tussen twee glasplaten klemmen.
De belichtingstijd is afhankelijk van de lichtbron en de helderheid van het printontwerp. Zodra we meer prints willen maken, verdient het aanbeveling de lichtbron, bijv. de hoogtezon, vast op te stellen of in ieder geval de afstand van de lamp tot het tafelblad nauwkeurig op te meten, zodat we later in staat zijn de omstandigheden weer precies hetzelfde te maken. De meeste hoogtezonnen geven ook een behoorlijke hoeveelheid infrarood licht (warmte) af. Om die reden mag de afstand tussen de lamp en de te belichten print niet al te klein zijn. We kunnen die afstand iets groter kiezen en de langere belichtingstijd dan maar op de koop toe nemen. Een te heet geworden print is erger. Zo'n 30 cm zal meestal wel goed zijn.

Met deze min of meer vaste opstelling gaan we dan eerst een paar proefstrookjes maken om de juiste belichtingstijd vast te stellen. Hiervoor gebruiken we smalle strookjes printmateriaal waarop we het printontwerp leggen en beginnen dan met een belichtingstijd van bijv. 2 minuten waarna we de print ontwikkelen. Dit herhalen we tot we de juiste belichtingstijd gevonden hebben. Dat kan met een zwakke lamp wel eens oplopen tot zo'n 10 minuten of meer.
Zijn we er zeker van dat de belichtingstijd goed is, dan beginnen we met de eigenlijke print. Er is om te beginnen al één ding waar we heel goed op moeten letten. Het printontwerp mag niet in spiegelbeeld op de plaat komen, omdat dan

de onderdelen zoals transistoren en IC's niet meer passen. Om dit te voorkomen, zijn er op een printontwerp altijd letters en/of cijfers aangebracht.
Het printontwerp moet nu altijd zodanig op de printplaat worden gelegd, dat de letters, gezien vanaf de lichtbron, leesbaar zijn. Door hier altijd zorgvuldig op te letten, zijn vergissingen praktisch uitgesloten. De fotogevoelige laag kunnen we ook zelf op de print aanbrengen. Voor dit doel zijn er spuitbussen met fotogevoelige lak in de handel. Ook nu weer met positieve of negatieve werking. Gewoon printplaat in Pertinax- of epoxyglas-uitvoering is overal verkrijgbaar. Bij het opbrengen van deze lak moeten we ervoor zorgen dat het koperoppervlak heel goed schoon en vetvrij is, omdat anders de fotoresist niet goed hecht. Een rafelig bedradingspatroon is dan het gevolg. Bij de spuitbus wordt meestal wel een uitvoerige gebruiksaanwijzing gevoegd. Mocht dit niet het geval zijn, dan kan de volgende behandeling worden toegepast:
Het koperoppervlak wordt eerst grondig gereinigd met een schuurpoeder, bijv. VIM. Het koper moet volkomen glad en glimmend zijn.

Na goed afspoelen met water wordt de plaat gedroogd. Dit drogen moet zo snel mogelijk gebeuren, omdat het natte koper weer vrij gemakkelijk aan de lucht oxydeert waardoor de fotoresist niet goed hecht. Een haardroger kan ons hierbij goede diensten bewijzen. Tijdens en na dit drogen, mag het koperoppervlak *in geen geval met de vingers worden aangeraakt.*
Als de plaat goed droog is, kan de fotoresist worden aangebracht in een niet te dikke gelijkmatige laag. Uiteraard mag dit niet gebeuren in fel zonlicht. Ook moeten we goed opletten dat er geen stof op de nog natte fotoresist kan komen. De meeste types fotoresist drogen vrij snel. Het verdient aanbeveling de fotogevoelige laag daarna nog even flink te verwarmen in bijv. een oven. De hechting en de etsvastheid nemen daardoor flink toe. Natuurlijk mag dit alleen gebeuren in een schone oven, dus niet vlak na het braden van een kippetje. Een temperatuur van zo'n 80 °C is prima. Wordt de op deze manier behandelde printplaat niet direct gebruikt dan kunnen we deze het beste in zacht papier wikkelen en in een droge en koele ruimte bewaren.
Na het belichten kunnen we de print gaan ontwikkelen. De temperatuur van de ontwikkelaar is hierbij niet zo erg belangrijk (kamertemperatuur is voldoende). Tijdens het ontwikkelen zien we het bedradingspatroon duidelijk op het koperoppervlak verschijnen. We moeten de ontwikkelaar wel steeds goed in beweging houden. We gaan net zo lang door tot alle overtollige fotoresist is verdwenen en we een mooie scherpe afdruk gekregen hebben. Het kan wel eens voorkomen dat de resist op sommige plaatsen niet zo gemakkelijk verdwijnt. We nemen dan een zacht propje watten en vegen die plaatsen *heel voorzichtig* schoon. Vooral niet te hard wrijven anders beschadigen we het bedradingspatroon. Mocht dit om de een of andere reden toch gebeuren, dan is er heus nog geen man over boord. Na afspoelen en drogen, kunnen we die beschadigingen dan bijwerken met bijv. een speciale print-tekenpen (zie blz. 152) of met een ge-

wone tekenpen en Oostindische inkt. Deze inkt is namelijk ook vrij redelijk etsvast.
Het is bij het ontwikkelen belangrijk er goed op te letten, dat alle gaatjes in de soldeereilandjes duidelijk „open" zijn. Deze moeten we namelijk later gebruiken als centreergaatjes bij het boren. Is de hele plaat goed ontwikkeld, dan moet er gespoeld worden. Sommige soorten fotoresist zijn in dit stadium nog vrij zacht en dus kwetsbaar. Vandaar dat we bij dit spoelen nooit een harde waterstraal direct op de print mogen richten. Het is het beste om na het spoelen direct verder te gaan en de plaat niet eerst te laten drogen.

Het etsen

Hiervoor komen twee etsbaden in aanmerking, nl.: een oplossing van ammoniumpersulfaat resp. ferrichloride. Een nadeel van ammoniumpersulfaat is dat deze oplossing niet lang houdbaar is. We moeten dus steeds vlak voor het etsen een nieuwe oplossing maken. Een oplossing van ferrichloride is vrijwel onbeperkt houdbaar en geniet dus de voorkeur. Meestal wordt ferrichloride geleverd in grote brokken die vrij gemakkelijk oplossen in water. In die streken van ons land waar het leidingwater nogal „hard" is, verdient het aanbeveling om vóór het oplossen gedestilleerd water te gebruiken. We lossen 900 g ferrichloride op in 1 liter water. Om het etsen sneller te laten verlopen, mogen we het etsbad gerust verwarmen tot zo'n 40 °C. Tijdens het etsen moeten we de vloeistof steeds in beweging houden. (Pas op voor de kleren! Ferrichloride geeft lelijke gele vlekken, die er erg moeilijk uit gaan.)

We laten de print niet langer in het etsbad dan strikt noodzakelijk is, anders lopen we de kans op het zgn. „onderkruipen". Het etsmiddel tast dan van opzij de koperbanen aan hetgeen een rafelig bedradingspatroon ten gevolge heeft.
Zodra dus al het overtollige koper verdwenen is, nemen we de print uit het etsbad en spoelen hem in stromend water zorgvuldig af. Er mogen absoluut geen restjes etsmiddel achterblijven.

Nu kan de fotoresist worden verwijderd met een oplosmiddel, bijv. tri of aceton. We hebben nu het gewenste bedradingspatroon in blank koper. Maar we zijn nog niet klaar. Dat blanke koper oxydeert vrij gemakkelijk aan de lucht, waardoor we later moeilijkheden kunnen krijgen met het solderen. Om dit te voorkomen, moeten we de print nog behandelen met soldeerlak. Eerst schuren we de koperbanen heel voorzichtig met uiterst fijn staalwol. Maar niet te lang én te hard natuurlijk. De dikte van het koper is maar 0,035 mm! Direct daarna spuiten we er een dunne laag soldeerlak over. (Deze is ook in spuitbussen in de handel.) Deze soldeerlak heeft twee functies, namelijk bescherming van het koper tegen oxydatie en als vloeimiddel bij het solderen. Op het boren van de gaatjes na is de print nu klaar.

Het boren

Het boren kan nog wel enige moeilijkheden opleveren. Uiteraard heeft lang niet iedereen de beschikking over een speciale printboormachine en een gewone handboormachine is beslist onbruikbaar. We moeten gaatjes boren van 1 mm en die boortjes zijn dermate breekbaar dat we vrijwel voor ieder gaatje een nieuw boortje moeten nemen. Een redelijk alternatief is de elektrische handboormachine van het fabrikaat LAR. (Imp. Fa. van Reijsen Elektronika in Delft.)
De grote elektrische boormachines zijn ook wel bruikbaar, mits we ze vastzetten in een boorstandaard en we het enorme kabaal dat ze produceren lang genoeg kunnen verdragen.
Pertinax-printjes boren vrij gemakkelijk, maar bij epoxyglas zijn de boortjes erg snel bot. We moeten uiteraard boren vanaf de koperzijde omdat daar de centreergaatjes zitten. Deze zijn meestal net voldoende om de boor te beletten „weg te lopen".
Bij de printjes in dit boek zijn drie verschillende diameters nodig, nl. 1, 1,4 en 3,5 mm.
Wanneer alle gaatjes geboord zijn, en we vergeten er zo gauw een, is onze gedrukte bedrading klaar. Een gaatje dat nu vergeten wordt, kan ons later een heleboel narigheid bezorgen omdat we het meestal pas in de gaten hebben als we er een onderdeel in willen steken. Om er dan nog goed bij te komen, kost meestal heel wat hoofdbrekens. Dus goed controleren of er niet ergens een vergeten is.

Het solderen

Voor het solderen hebben we een goede, niet te zware, elektrische soldeerbout nodig met een dunne stift. Een bout van ca. 20 W is al voldoende. Vooral voor de tere IC's moeten we een heel dunne stift hebben. Is de stift van de bout te groot, dan is daar toch vrij eenvoudig een zgn. microbout van te maken. We nemen een stuk elektriciteitsdraad, zgn. tweekwadraats, halen er de isolatie af en wikkelen dit draad een flink aantal malen om de stift van de soldeerbout. Een stuk van ca. 5 cm laten we aan de voorkant uitsteken. Dit uiteinde vijlen we schuin af en zie daar, onze microbout. Zodra de punt goed heet is, vertinnen we hem om te voorkomen dat het koper „aanslaat".
Deze goed buigbare punt geeft ons bovendien nog de mogelijkheid om onder een hoek te solderen. Voor moeilijk bereikbare plaatsen kan dat een grote uitkomst zijn.
Hoewel de print is bespoten met soldeerlak, gebruiken we toch zgn. harskernsoldeer.
De juiste soldeertechniek is ook weer een kwestie van ervaring. Vooral niet te lang de bout erop, zeker niet bij IC's en transistoren. De beste methode is als volgt;
We steken de aansluitdraden van het onderdeel door de gaatjes en buigen deze

ongeveer onder een hoek van 45°. Zodoende zit het onderdeel vast en kunnen we de print omdraaien. Dan brengen we de soldeerbout tegelijk met het soldeer op het soldeereilandje en wachten tot het soldeer goed vloeit. Dan direct de bout weg. Blazen om de soldeerplaats af te koelen, is niet aan te bevelen, de kans op een „koude las" of „plakker" wordt er alleen maar groter door. Als de soldeerplaats voldoende is afgekoeld, kunnen we de uitstekende draad afknippen.

Vooral het solderen van IC's vergt nog enige speciale aandacht. De soldeerpunten zitten hierbij erg dicht op elkaar, zodat we erg vlug sluiting kunnen maken. Hiervoor is een microbout dus beslist onmisbaar. Ook moeten we goed oppassen, dat het IC niet te heet wordt. Solderen we alle acht of zelfs veertien aansluitingen achter elkaar, dan wordt het binnenste van het IC beslist te heet. Het beste is om het IC eerst op twee tegenoverelkaar liggende plaatsen vast te solderen en dan steeds een poosje te wachten tussen de rest van de aansluitingen.

Een tweede gevaar van te lang solderen, is de kans op losspringen van de koperbanen. Vooral bij Pertinax is dat gevaar beslist niet denkbeeldig.

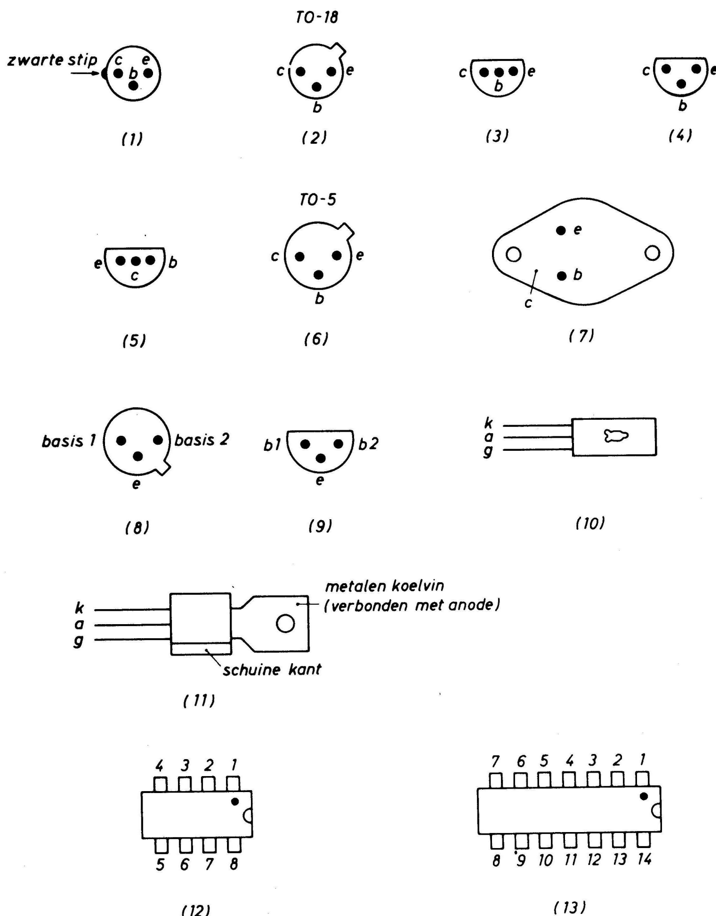
Reparaties aan een print

Ook een gedrukte bedrading is niet volmaakt. Er kunnen altijd nog wel vervelende storingen in optreden. Een van de lastigste storingen is de „printbreuk". Door ruwe behandeling of een fabricagefout kan er in een bepaald printspoor een vrijwel onzichtbaar haarscheurtje ontstaan. Zoiets kunnen we alleen maar vinden door meten. We gebruiken daarvoor een zgn. universeelmeter. We meten dan steeds van het ene soldeereilandje tot het andere.

Vinden we tussen twee punten die met elkaar doorverbonden zijn via een koperbaan een hoge weerstand, dan zit daar ergens een haarscheurtje. Hierbij moeten we goed in de gaten houden, dat het koper zelf geïsoleerd is door de opgebrachte soldeerlak. Daarom vertinnen we het verdachte koperspoor helemaal. Vaak kunnen we dan het scheurtje al met het blote oog zien, doordat het soldeer aan weerskanten ervan opbolt. Kunnen we nog niets zien, dan nemen we de meter weer ter hand. Daarmee kunnen we de breuk vrij snel lokaliseren. Ter reparatie leggen we er dan een klein stukje blank montagedraad overheen en solderen dat aan beide zijden op het printspoor. Losgesprongen koperbanen kunnen we beter helemaal weghalen en vervangen door montagedraad.

Defecte onderdelen kunnen we beter maar niet vanaf de koperzijde lossolderen. Het diverse malen op één soldeereilandje solderen, leidt meestal tot losspringen. Om het onderdeel te vervangen, knippen we de aansluitdraden bovenop de print los, zodat er ongeveer 1 cm overblijft.

Op deze resten solderen we dan het nieuwe onderdeel weer vast. Dit laatste geldt vooral voor IC's. Aangezien deze nogal wat aansluitpunten hebben, krijgen we die niet zonder meer van de print af. Losknippen is de enige remedie.

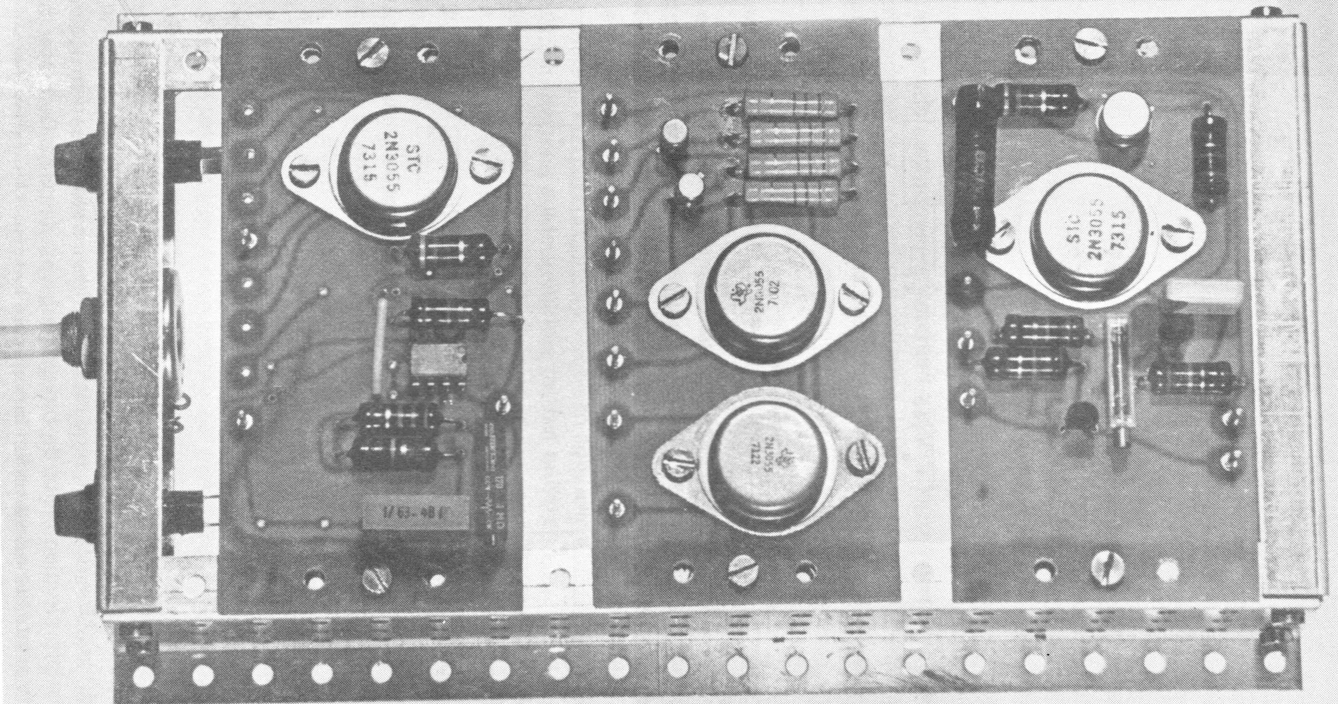


Afb. 9-2. Aansluitingen.
De nummers 1 t/m 9 zijn gezien vanaf de onderzijde.
De nummers 10 t/m 13 zijn gezien vanaf de bovenzijde.

9.2. De print-ontwerpen

Algemeen

Bij de 11 in dit deel voorkomende printontwerpen is niet gestreefd naar minimale afmetingen. Bij onze modelbaan hebben we toch ruimte genoeg. Er is meer de nadruk gelegd op standaard-afmetingen.
Deze zijn: 5 × 10 en 7,5 × 10 cm. Langs de korte zijden is steeds een strook van 1 cm vrij gehouden, die dient voor de bevestiging van de print. De maten zijn zodanig, dat alle prints kunnen worden ingepast in het zgn. Montaflex-systeem.



Afb. 9-3. Montagevoorbeeld op een klein Montaflex-chassis, bestaande uit 2 Z-profielen ZP 20-5-, 2 kopschotten KS 23. De prints zijn bevestigd d.m.v. steekmoeren MM-3.

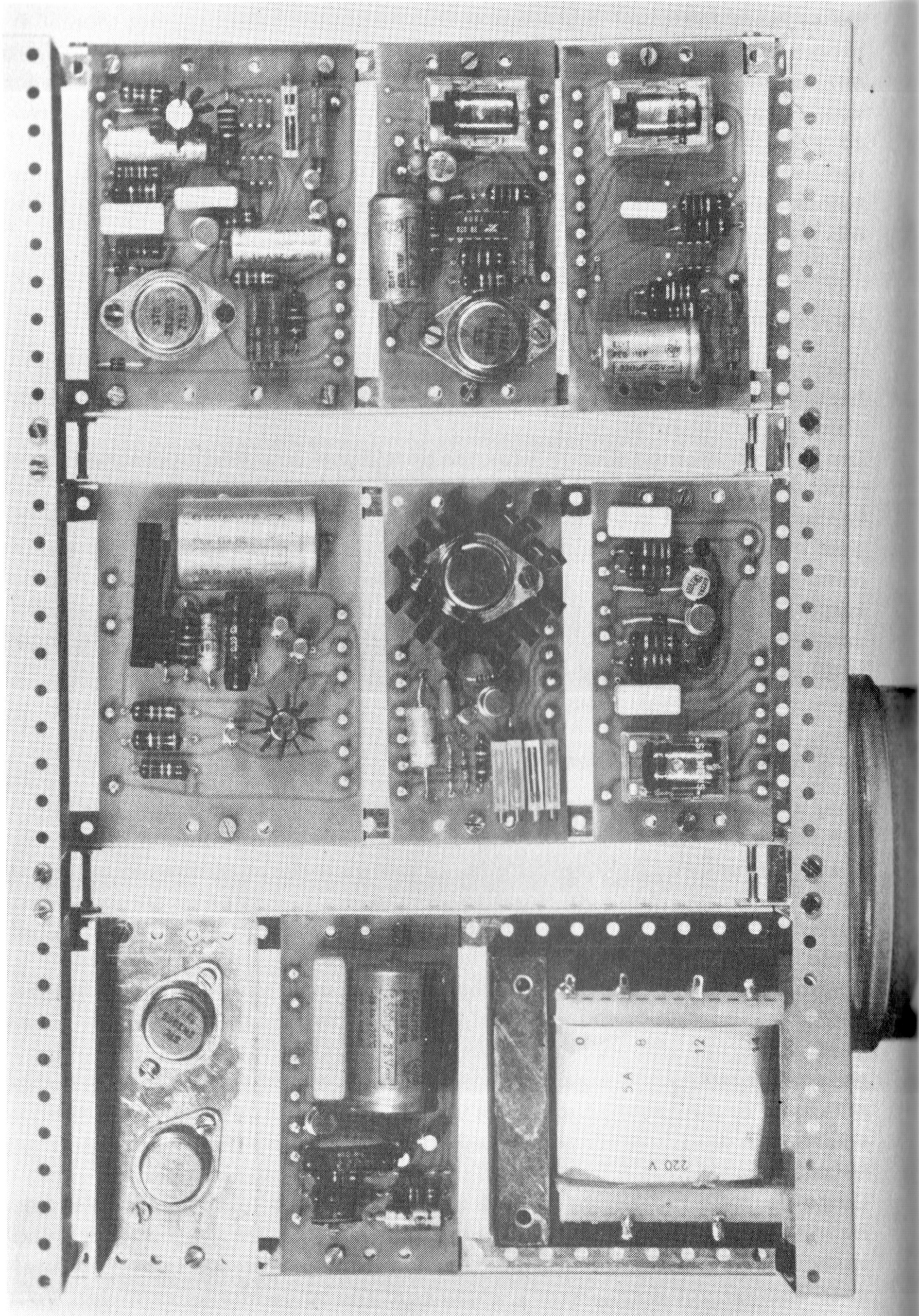
Dit systeem heeft wel iets weg van het meccano-speelgoed. Het Montaflex-programma omvat een groot aantal onderdelen, zoals kasten, profielen, beugels enz. waarmee we op eenvoudige wijze stevige chassis kunnen samenstellen voor het elektronische deel van onze modelbaan. Het aantal mogelijkheden is zó groot, dat het ondoenlijk is het gehele systeem hier te gaan bespreken. Een overzicht van het totale programma is te krijgen in de radio-onderdelendetailhandel of bij de fabrikant, de Firma GULLY BV in Loosdrecht. Op afb. 9-3 en afb. 9-4 zijn twee toepassingsvoorbeelden gegeven.

De onderlinge verbindingen

Iedere print bevat steeds één complete schakeling. Deze eenheden worden op het chassis geschroefd en pas daarna van de nodige onderlinge bedrading voorzien.
Om nu te voorkomen dat er te vaak aan de toch wel tere printsporen gesoldeerd moet worden, zijn alle in- en uitgangen voorzien van printpennen. Ook hiervoor kunnen we terecht in het Montaflex-systeem, namelijk de printpen IP-2. Hierbij past dan het opschuifcontact BB-11, dat we aan de draad vastsolderen. Dit contact klemt strak om de printpen, zodat we een betrouwbare verbinding gekregen hebben, die toch weer gemakkelijk los te nemen is als we iets willen veranderen, wat op een modelbaan nogal eens voorkomt. Op de afbeeldingen is dit alles duidelijk te zien.

De afzonderlijke ontwerpen

Voor elke print is steeds een ontwerp gegeven, gedrukt op doorzichtig papier (zie achterin). Deze ontwerpen kunnen dus rechtstreeks worden afgedrukt op positief printplaat. Bij het desbetreffende schema is een componentenopstellIng getekend. Het printontwerp is gezien vanaf de koperzijde en de componentenopstelling vanaf de andere kant. De gaatjespatronen zijn dus elkaars spiegelbeeld.
De grote soldeereilanden langs de lange zijden van de print zijn de in- of uitgangen en moeten dus worden voorzien van een printpen IP-2. Hiervoor is een gaatje nodig van 1,4 mm. Op de tekening van de componentenopstelling is zo'n punt aangegeven door een cirkeltje. Alle andere gaatjes worden 1 mm geboord, mits in de bouwbeschrijving anders voorgeschreven is. Bij de in- en uitgangen staat tevens de functie vermeld. Vaak is dat een letter, die dan overeenkomt met hetzelfde punt in het schema van de desbetreffende schakeling.
Langs de korte zijden zien we ook steeds een aantal losse soldeereilandjes. Hierop wordt niet gesoldeerd. We boren hierin gaten van 3,5 mm voor de bevestiging van de print. De hartafstand van deze gaten is steeds 1 cm of een veelvoud daarvan zodat ze ook weer afgestemd zijn op de Montaflex-maten. Voor


220 V

het vastschroeven van de plaatjes gebruiken we dan de opschuifmoeren, ook wel steekmoeren genoemd, MM-3.
Hieronder volgen voor iedere print afzonderlijk nog enkele bouwvoorschriften.

Printontwerp 2-13

Afmetingen 7,5 × 10 cm. Aantal printpennen: 4.
De zware eindtransistor moet worden gekoeld. Op de print is rekening gehouden met het plaatsen van een zgn. vingerkoelelement (boring TO-3).
Aanbevolen montagevolgorde: Printpennen, zenerdiode Z, weerstanden R1 en R2, transistor TS1, C2, bruggelijkrichter, C3, C1 en C4, transistor TS2 (met koelelement).

Printontwerp 2-16

Afmetingen 5 × 10 cm. Aantal printpennen: 7.
De eindtransistor voor deze voeding wordt op een aparte koelplaat bevestigd. We kunnen hiervoor gebruiken het koelelement uit het Montaflex-programma type AE-36. Hierop is plaats voor twee transistoren in een TO-3-behuizing. We hebben dus nog een plaats over voor eventueel een tweede voeding van ditzelfde type. Bij langdurig gebruik op vol vermogen, kan de stroombegrenzingsweerstand R6 behoorlijk heet worden. Het verdient daarom aanbeveling deze weerstand niet plat op de print aan te brengen, maar op „hoge poten" een stukje boven de andere onderdelen te laten uitsteken.
Deze weerstand brengen we als laatste aan. We beginnen weer met de printpennen. De verdere volgorde is niet belangrijk.

Printontwerp 2-19

Afmetingen 7,5 × 10 cm. Aantal printpennen IP-2 : 10.
Ook bij dit ontwerp wordt de eindtransistor apart gekoeld. Zie hiervoor par. 9.2. TS4 kan ook aardig warm worden, zodat deze tor moet worden voorzien van een opschuifkoelster (TO-5).
Voor de stroombegrenzingsweerstand R1 geldt hetzelfde als gezegd in de vorige paragraaf. Verder geen speciale bouwvolgorde.

Printontwerp 3-9

Afmetingen: 5 × 10 cm. Aantal printpennen: 10.
Hoewel niet direct noodzakelijk, kan ook op deze print transistor TS3 worden voorzien van een vingerkoelelement.
Montagevolgorde: R6, R7, R8, R9, R10, TS1, TS2, C2, C1, de instelpotentiometers R1, R3, R4, R5 en ten slotte TS3, met of zonder koelelement.
N.B. De weerstanden R9 en R10 zitten erg dicht bij de transistoren TS1 en TS2. Daarom kan het nodig zijn de weerstanden iets opzij te buigen teneinde de gaatjes voor de transistoren te kunnen bereiken.

Afb. 9-4. Montaflex-chassis. Dit chassis is eigenlijk een kast type 3-Z. Het voor- en achterpaneel zijn met elkaar verbonden door L-profielen LP 20-3. Behalve de twee buitenste, zijn de L-profielen door middel van koppelplaatjes MM41 bevestigd op staanders type VB-2. Op deze wijze ontstaan 3 compartimenten. Voor de duidelijkheid is de bedrading weggelaten. In het onderste compartiment zien we een 5 A-trafo, een voedingsprintje en een koelelement type AE-36 met 2 × 2N3055. De bodem, het deksel en de zijpanelen worden later aangebracht. Voor onze toepassingen is het eigenlijke voorpaneel een beetje te klein. Maar er is niets op tegen om het deksel tot bedieningspaneel te promoveren. We krijgen dan een oppervlak van ruim 20 × 30 cm.

Printontwerp 3-13
Afmetingen 5 × 10 cm. Aantal printpennen: 4.
Geen speciale bouwvolgorde. De aansluitingen van de gebruikte thyristor zijn nogal stug, zodat ze moeilijk te buigen zijn. We moeten er in ieder geval op letten, dat we de draden niet vlak bij het lichaam buigen.

Printontwerp 3-25
Afmetingen 7,5 × 10 cm. Aantal printpennen: 9.
De eindtransistor TS5 hoeft niet gekoeld te worden. TS1 daarentegen fungeert hier als voeding en kan flink heet worden. Daarom moet deze worden voorzien van een opschuif-koelster TO-5.
Aanbevolen bouwvolgorde: printpennen, zenerdiode Z, R1, C1, TS1 (met koelster), R4, IC1 en IC2 (*met microbout*), R4, R2, R3, C2, R12, D2, C3, R7, TS4, TS2, TS3, R8, R5, C4, R6, R11, R10, R9, D1 en ten slotte de eindtransistor TS5.

Printontwerp 4-14
Afmetingen 5 × 10 cm. Aantal printpennen: 8.
De transistoren TS1 en TS2 worden altijd geplaatst. De daarbij behorende collectorweerstanden R1 en R2 eveneens. Als er geen positiefgaand signaal nodig is, kunnen de andere twee transistoren met bijbehorende weerstanden weggelaten worden. Verder geen bijzondere bouwvoorschriften.

Printontwerp 5-4
Afmetingen 5 × 10 cm. Aantal printpennen: voor de wisselbekrachtigingsschakeling 7. Apart voor het losse relais 8.
Het printontwerp van de wisselbekrachtigingsschakeling nam niet de gehele standaardprint in beslag. Vandaar dat we op deze print nog een los relais kunnen plaatsen. Op een modelbaan zijn meestal nog wel een aantal aparte relais nodig zodat dit wel van pas komt. De aansluitpennen van het relais V 23012-AO102-A001 zijn iets te dik voor gaatjes van 1 mm, zodat we die beter 1,2 of 1,4 mm kunnen boren.
Het relais heeft geen enkele elektrische verbinding met de wisselschakeling. Er is zoveel ruimte voor de onderdelen, dat er geen speciale bouwvolgorde nodig is.

Printontwerp 6-6
Afmetingen 5 × 10 cm. Aantal printpennen: 6.
Door de weerstand R1 gaat de volle belastingsstroom zodat deze warm kan worden. We laten deze weerstand dan ook weer een stukje boven de print uitsteken. Verder geen bijzonderheden.

Printontwerp 7-2
Afmetingen 5 × 10 cm. Aantal printpennen in uitvoering A: 3, en uitvoering B: 9.
Op deze print kunnen twee verschillende schakelingen worden gebouwd en dan elk in twee verschillende uitvoeringen.
Die twee schakelingen zijn: Een knipperlichtcentrale en een tijdschakelaar, beide met de NE 555. Wat de verschillende uitvoeringen betreft, kunnen we kiezen tussen een eindtransistor en een relais aan de uitgang.

Knipperlichtcentrale (afb. 7-3a volgens afb. 8-2)
Aangezien de knipperfrequentie meestal tussen de 1 en 2 Hz zal liggen, kunnen we voor C1 (tijdsbepalende condensator) volstaan met een gewone condensator van 1 μF. Op de print is rekening gehouden met diverse maten van de condensator. Bij gebruik als knipperlicht (a-stabiele multivibrator) moet punt 2 (triggeringang) van de NE 555 verbonden

worden met punt 6. Op de print moeten we dat doen met een draadje op de componentenzijde van de print.
Te plaatsen onderdelen: IC NE 555, R2, R3, R4, R7, R8, C1 en naar keuze transistor TS1 of een relais V 23012. Bij gebruik van een transistor behoeven we niet alle printpennen van het relais te plaatsen.

Tijdschakelaar (afb. 7-3b)
Hierbij zijn de tijden veel langer, zodat we voor C1 een veel grotere condensator moeten toepassen. Te plaatsen onderdelen: R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, C1, C2, IC NE 555 en weer óf TS1 óf een relais V 23012. De weerstanden R5 en R6 hebben een speciale functie en zijn alleen dán noodzakelijk als we heel lange tijden willen hebben. Deze weerstanden bepalen de spanning op de controle-ingang. Maken we deze spanning vrijwel gelijk aan de voedingsspanning (R5 veel kleiner dan R6) dan wordt de totale tijd aanmerkelijk langer dan 1,44 (R2 + R3 + R4) C1. Is de tijd volgens deze formule voldoende, dan mogen we R5 en R6 gerust weglaten.

Printontwerp 7-5
Afmetingen 5 × 10 cm. Aantal printpennen: 11.
Deze tijdschakelaar heeft twee uitgangen, die steeds tegengesteld zijn aan elkaar. De uitgang 12, die de meeste stroom mag leveren, stuurt de eindtransistor TS2. Uitgang 10 is verbonden met de basis van TS1. Deze transistor heeft in zijn collectorleiding een relais V 23012, zodat we de beschikking hebben over twee omschakelcontacten. Het voordeel hiervan is, dat we met deze tijdschakelaar ook andere spanningen of zelfs wisselstroom kunnen schakelen.
Montagevolgorde: printpennen, IC XR 320 (vooral niet alle aansluitingen tegelijk solderen. Steeds even wachten) R1 t/m R6, C1, C2, C3, TS1, TS2 en ten slotte het relais.

9.3. Equivalentenlijst

Achter elk type staat steeds tussen haakjes een cijfer, dat verwijst naar de tekening van de aansluitingen. Deze aansluitingen vinden we in afb. 9-2.

In dit boek voorkomend type	Eventueel te vervangen door
AC 128 (1)	–
BC 107 (2)	BC 171 (3), BC 109 (2), BC 182 (4), BC 184 (4).
BC 212 (4)	BC 214 (4), 2N3702 (5)
2N2219 (6)	2N1711 (6), TS 2219 (6), 2N1613 (6)
2N3055 (7)	BD 130Y (7).
2N2905 (6)	–
2N2646 (8)	2N4891 (9).
2N4441 (10)	C106Y1 (11).
NE 555 (12)	MC 1455 (12).
XR 320 (13)	–

Alle losse onderdelen zijn verkrijgbaar bij

TECHNISCHE HANDELSONDERNEMING
VAN DAM ELEKTRONICA
POSTBUS 450
ROTTERDAM

Zij die de printjes niet zelf willen maken, kunnen deze bestellen bij

TECHNISCH HANDELSBURO
VAN DER PLAS
Postbus 164
KATWIJK AAN ZEE

Bestelling door overschrijving van het verschuldigde bedrag op giro 309063 t.n.v. Technisch Handelsburo Van der Plas, te Katwijk aan Zee.
Prijzen (incl. BTW en porto).
(Al de bovengenoemde prijzen gelden tot december 1975.)

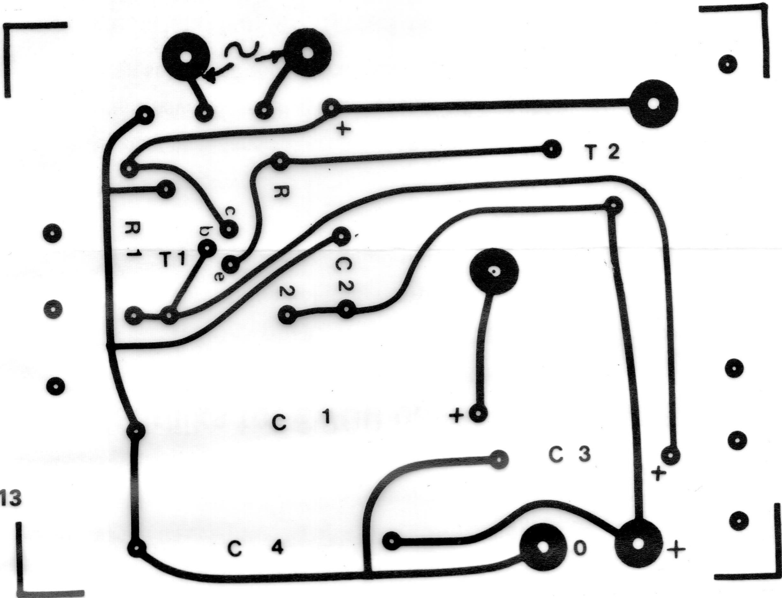
2-13	f 12,–
2-16	f 10,–
2-19	f 12,–
3-9	f 10,–
3-13	f 10,–
3-25	f 13,50
4-14	f 10,–
5-4	f 10,–
6-6	f 10,–
7-2	f 10,–
7-6	f 10,–

	weerstand		drukschakelaar (normaal open)
	NTC-weerstand		drukschakelaar (normaal gesloten)
	LDR		gloeilampje
	potentiometer		aarde of massa
	instelpotentiometer		batterij
	condensator		luidspreker
	elektrolytische condensator (elco)		oortelefoon
	diode		zekering
	zenerdiode		wisselspoel
	pnp-transistor		(locomotief) motor
	npn-transistor		dubbelpolige omschakelaar
	UJT		relais (met één wisselcontact)
	thyristor		draaischakelaar (5 st.)
	enkelpolige tumbler-schakelaar aan/uit		
	dubbelpolige tumbler-schakelaar aan/uit		
	enkelpolige omschakelaar		

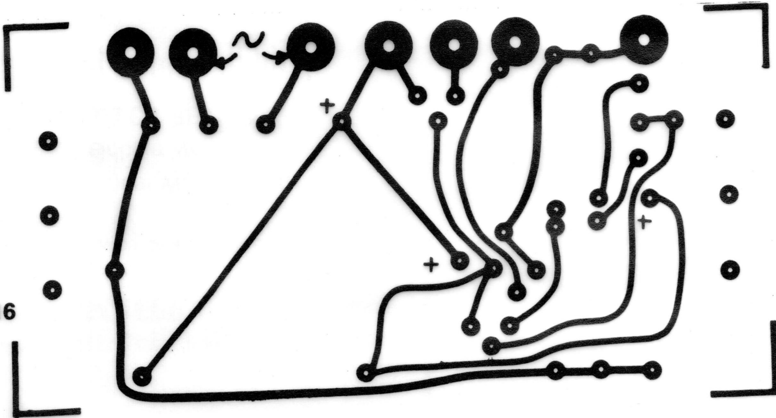
Spoorwegmodelbouw is een hobby, die al ruim honderd jaar wordt beoefend door jong en oud. Vooral nu iedereen in de laatste jaren de beschikking krijgt over steeds meer vrije tijd wordt de noodzaak groter daarvoor een zinvolle besteding te vinden. Modelspoorwegbouw is beslist een zinvolle vrijetijdsbesteding. Omdat iedereen, op zijn eigen niveau, zich hierin ten volle kan uitleven wat betreft fantasie en creativiteit. Er bestaat reeds een groot aantal boeken op het gebied van de modelspoorwegbouw. Maar in deze boeken ontbreekt meestal iets, namelijk de toepassing van elektronica op de modelbaan. Terwijl elektronica onze modelbaan veel levendiger en interessanter kan maken. In dit boek wordt geen volledig geautomatiseerde baan beschreven, het probeert een richting aan te geven door het behandelen van een aantal algemene principes en de daarvan afgeleide schakelingen.
Omdat niet iedere modelbouwer tevens elektronicus is, worden in het eerste hoofdstuk de allernoodzakelijkste begrippen uit de elektriciteitsleer en elektronica kort besproken, *maar zonder moeilijke formules.*
Méér kennis is voor het toepassen van de schakelingen niet beslist noodzakelijk. In de volgende hoofdstukken komen dan onderwerpen ter sprake zoals voedingsapparaten, snelheidsregelingen, signalerings-, beveiligings- en automatiseringsschakelingen, alsmede tijdschakelaars, knipperlichtcentrales enz.
Alle schakelingen worden duidelijk besproken en zijn volledig uitgewerkt. Van een groot aantal worden zelfs de complete printontwerpen gegeven, zodat nabouwen voor niemand moeilijkheden behoeft op te leveren. In het laatste hoofdstuk wordt uitvoerig ingegaan op de praktische realisering, in het bijzonder de gedrukte bedrading.
Kortom: een boek dat thuishoort bij iedere moderne modelspoorbaan.

ISBN 90 2010 775 5

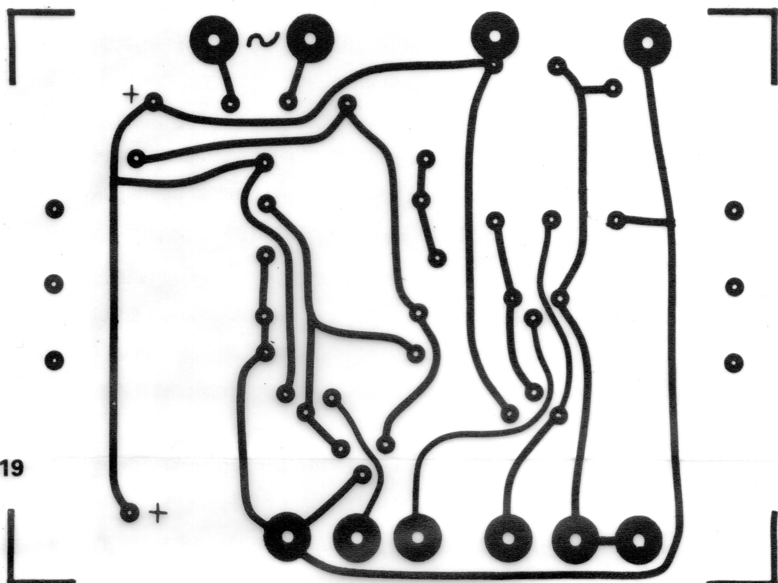
Printontwerpen



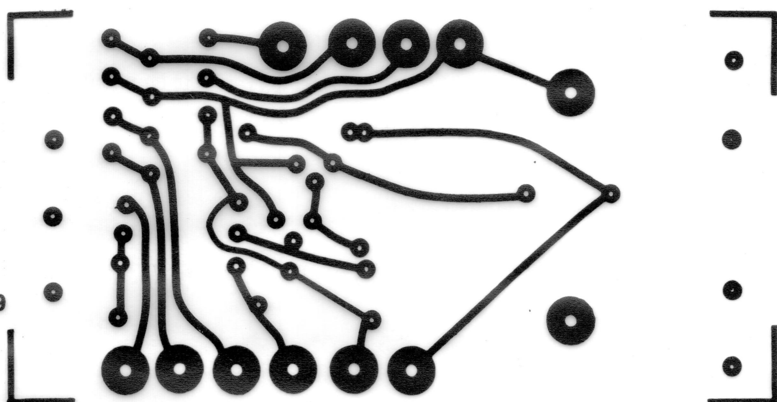
HBM1. 2-13



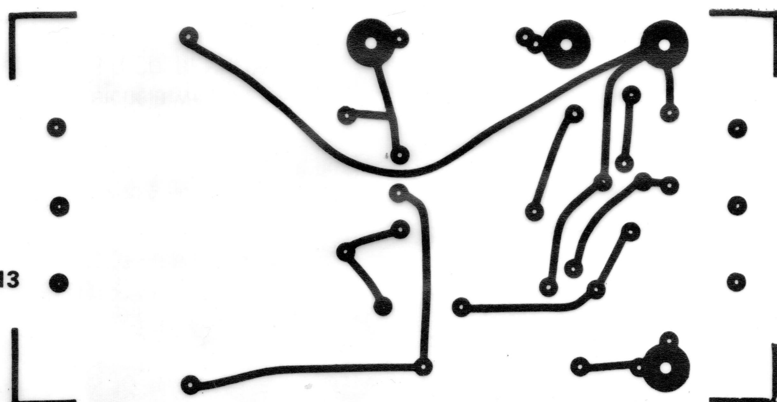
HBM1. 2-16



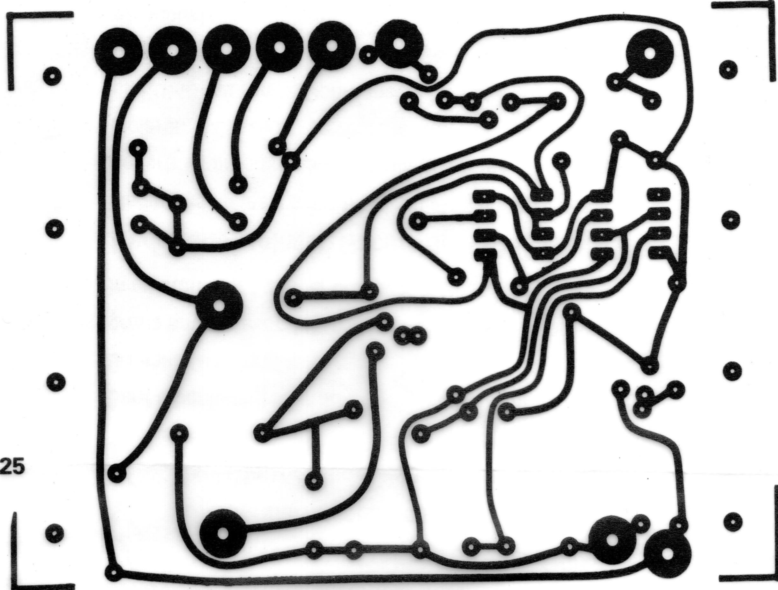
HBM1. 2-19



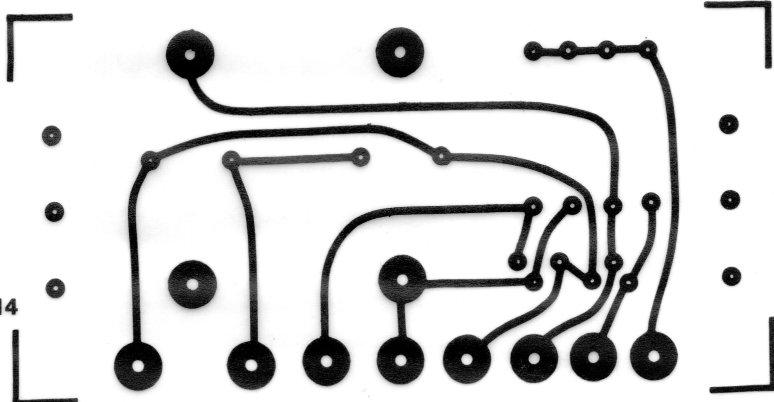
HBM1. 3-9



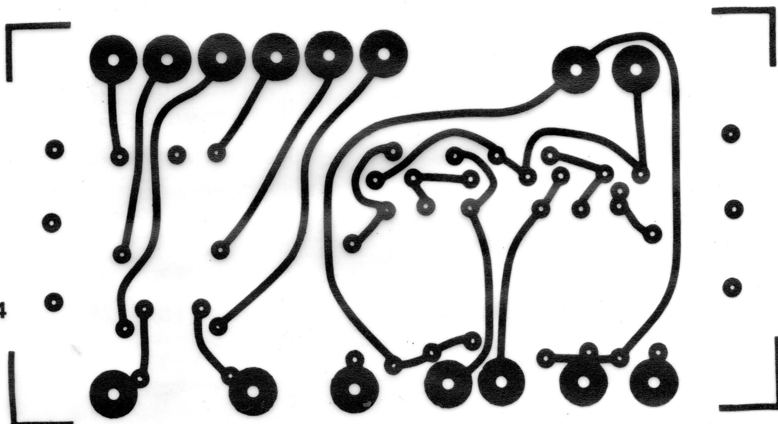
HBM1. 3-13



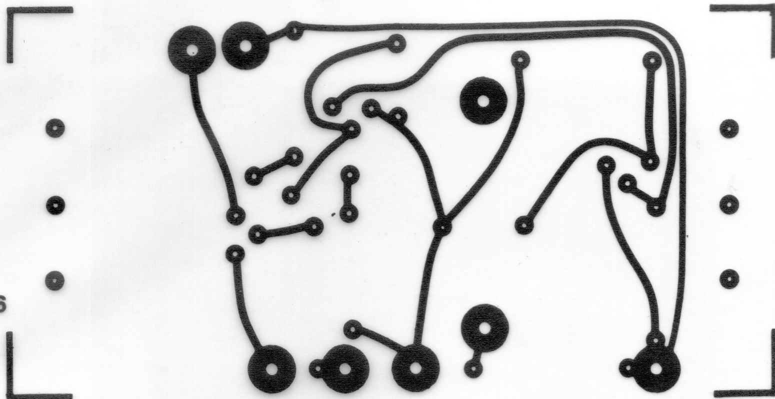
HBM1. 3-25



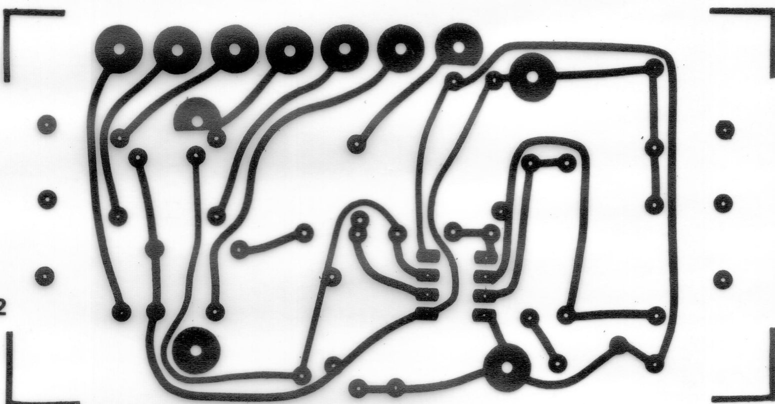
HBM1. 4-14



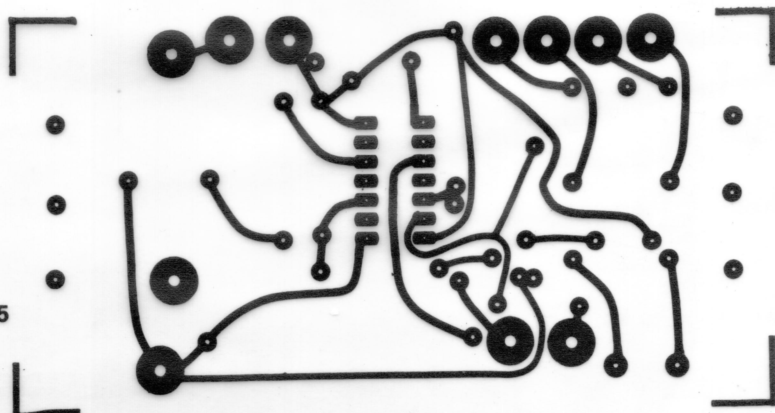
HBM1. 5-4



HBM1. 6-6



HBM1. 7-2



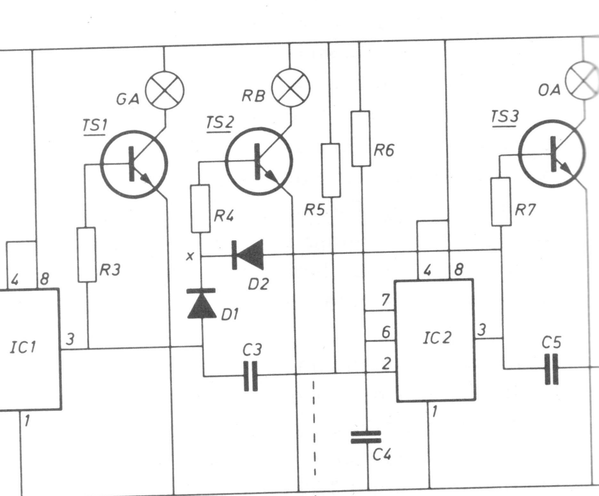
HBM1. 7-5

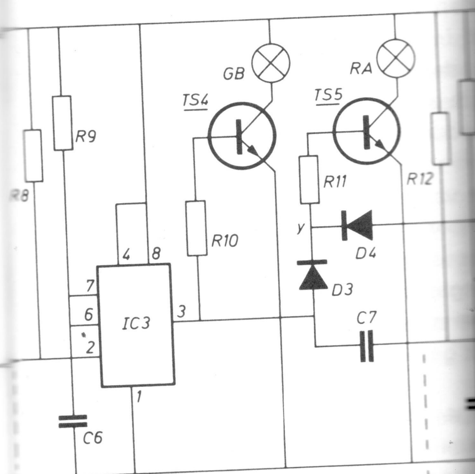
n de weerstanden R6 en R13 een waarde hebben

gerust verschillen van fase III. Dit hangt af van de
Is weg A een hoofdverkeersader, en weg B een
dan moet fase I veel en veel langer worden dan

nsen veel langer moeten zijn dan de gele, nemen
50 μF. Met een laadweerstand van 5 MΩ bereiken
= ruim 4,5 min. Voor de meeste toepassingen zal
eling volgens afb. 8-6 geeft al een heel realistische
helemaal volgens de werkelijkheid. De situatie is
op weg A op rood springen de lichten voor B tege-

De lampen RB branden dus tijdens he
Voor RA zijn dat: IC2A, IC3, IC4 en IC4
meer te zijn dan ca. 1 s zodat we met e
van 1 MΩ toe kunnen.
De sturing van TS2 en TS5 is in feite
,,OF''-poort. TS2 wordt gestuurd door
fasen. Dit soort logische schakelinge
signaleringsschakelingen veelvuldig
uitvoerig op terug.
Natuurlijk zijn er op het gebied van d
schakelingen te bedenken. Door ze
werkelijkheid op zijn baan zoveel m





e stuurschakeling van een enkelvoudige verkeerslichtinstallatie

weg A nét door rood glipt, loopt de kans in botsing
optrekkende auto op weg B. Om dit te voorkomen,
oevoegen. Deze noemen we IIA en IVA. Gedurende
lichten op rood. Het spreekt vanzelf, dat dit maar
t te realiseren, hebben we nog twee extra NE 555
tussenfase getekend. De triggeringang 2 van zo'n
uurd door de uitgang 3 van de voorgaande via een
se II-A is dat dus punt 3 van IC2. De twee dioden aan
se worden verbonden met de punten x en y (zie afb.
n dan uiteindelijk in totaal 4 dioden samen.

